

## Metode uji kelulusan air pada tanah jenuh dengan menggunakan sel triaksial



© BSN 2016

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Persyaratan .....	2
5 Peralatan dan fungsi.....	3
6 Benda uji.....	8
7 Tata cara pengujian.....	10
8 Rumus .....	18
9 Laporan.....	19
Lampiran A Gambar (informatif) .....	20
Lampiran B Tabel (informatif) .....	24
Bibliografi .....	33
Gambar A.1 - Contoh rangkaian peralatan uji kelulusan air .....	20
Gambar A.2 - Sel triaksial.....	21
Gambar A.3 - Bagan alir pengujian kelulusan air .....	22
Gambar A.4 - Tekanan balik untuk berbagai derajat kejenuhan .....	23
Tabel B.1 Hubungan antara nilai kelulusan air dengan nilai perkiraan gradien hidraulik ....	24
Tabel B.2 Faktor koreksi $R_T$ untuk viskositas air pada perubahan temperatur .....	24
Tabel B.3 Contoh formulir isian penjenuhan dengan tekanan balik .....	25
Tabel B.4 Contoh formulir isian proses konsolidasi.....	26
Tabel B.5 Contoh formulir isian pengujian kelulusan air tekanan tetap (Metode A) .....	26
Tabel B.6 Contoh formulir isian pengujian kelulusan air tekanan menurun/tekanan hilir tetap (Metode B) .....	28
Tabel B.7 Contoh formulir isian pengujian kelulusan air tekanan menurun/tekanan hilir meningkat (Metode C).....	26
Tabel B.8 - Contoh formulir isian pengujian kelulusan air aliran tetap (Metode D) .....	31



## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang “Metode uji kelulusan air pada tanah jenuh dengan menggunakan sel triaksial” merupakan alternatif dari metode yang telah ada yaitu SNI 2435:2008 Cara uji kelulusan air benda uji tanah di laboratorium dengan tekanan tetap. Nilai kelulusan yang diperoleh dengan metode ini diharapkan akan lebih memuaskan karena peralatan dan tata cara pelaksanaan lebih lengkap.

Standar ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subkomite Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air melalui Gugus Kerja Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan yang telah melalui rapat konsensus pada tanggal 4 Desember 2013 yang melibatkan para narasumber, pakar dan instansi terkait serta melalui jajak pendapat tanggal 16 Januari 2015 hingga 17 Maret 2015.





## Pendahuluan

Kelulusan air dari suatu prasarana dan sarana lingkup pekerjaan umum dalam bidang sumber daya air merupakan salah satu perilaku yang perlu diketahui dari bangunan air termasuk fondasi bendungan, tubuh dan fondasi embung, tanggul, dan bangunan pelengkap lainnya.

Dengan menggunakan dan mempertimbangkan kelulusan air ini, bangunan air dapat dianalisis sehingga diketahui keamanan dan efektivitas, serta efisiensinya yang akan memberikan keberhasilan pemanfaatan bangunan air tersebut.

Dalam pengujian kelulusan air pada tanah jenuh dengan menggunakan alat sel triaksial ini, akurasi dan kesempurnaan pengujian, dan nilai kelulusan suatu material dapat diketahui yang akhirnya akan memberi andil di dalam analisis bidang hidraulika dan bangunan air karena dalam pengujian, nilai-nilai gradien hidraulik, perubahan, dan perilaku benda uji dapat diketahui melalui peralatan yang ada, antara lain, pengukur tekanan, pengukur volume, dan unit peralatan tekanan balik.

Dengan mengikuti prosedur pengujian dan penggunaan alat sel triaksial ini secara cermat dan teliti, diharapkan para teknisi laboratorium dapat melakukan pengujian dengan baik, dan memperoleh nilai kelulusan air yang memuaskan.



## Metode uji kelulusan air pada tanah jenuh dengan menggunakan sel triaksial

### 1 Ruang lingkup

Metode uji ini digunakan untuk melakukan pengukuran kelulusan air pada tanah jenuh yang menggunakan sel triaksial di laboratorium. Metode uji ini dapat digunakan untuk tanah tak terganggu atau contoh tanah yang dipadatkan dengan menggunakan prinsip dasar satu dimensi dan aliran laminar yang melalui material seperti tanah dan batuan. Dalam pengujian ini nilai gradien hidraulik, perubahan dan perilaku benda uji dapat diketahui melalui peralatan pengukur tekanan dan pengukur perubahan volume, sehingga diharapkan akan diperoleh nilai kelulusan air yang memuaskan.

### 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan standar ini

SNI 1742:2008, *Cara uji kepadatan ringan untuk tanah*

SNI 1743:2008, *Cara uji kepadatan berat untuk tanah*

SNI 1965:2008, *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan*

SNI 2435:2008, *Cara uji kelulusan air benda uji tanah di laboratorium dengan tekanan tetap*

SNI 03-2455-1991, *Tanah, Metode pengujian laboratorium triaksial A*

SNI 03-4148.1-2000, *Tata cara pengambilan contoh tanah dengan tabung dinding tipis*

ASTM D 653, *Terminology relating to soil, rock and contained fluid*

ASTM D 2113, *Practice for diamond core drilling for site investigation*

ASTM D 4220, *Practice for pressuring and transporting soil samples*

ASTM D 4753, *Specification for evaluating, selecting and specifying balances and scale for use in soil and rock testing*

### 3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan pada standar ini sebagai berikut:

#### 3.1

##### **air pengujian**

cairan yang digunakan dalam pengujian untuk mengalir ke dalam benda uji dan juga digunakan dalam tekanan balik terhadap benda uji

#### 3.2

##### **gradien hidraulik**

perbedaan tekanan air yang terjadi pada benda uji dibagi dengan panjang aliran laminar yang mengalir melalui benda uji tersebut



**3.3****kelulusan air**

kecepatan pengaliran air laminar melalui suatu penampang media porus dalam suatu gradien hidraulik dan dalam kondisi temperatur standar (20°C). Istilah koefisien kelulusan air lebih sering digunakan daripada kelulusan air, namun dalam metode pengujian ini digunakan kelulusan air

**3.4****tekanan balik**

tekanan air yang diberikan pada pori-pori benda uji agar pori tersebut terisi air sehingga benda uji menjadi jenuh

**3.5****tekanan konsolidasi**

perbedaan tekanan antara tekanan sel dengan tekanan pori sebelum proses konsolidasi dimulai

**3.6****tanah jenuh**

material alam yang memiliki ruang pori terisi penuh oleh air

**3.7****tinggi tekan air**

tekanan yang ditimbulkan oleh air dengan nilai sesuai ketinggian air tersebut

**4 Persyaratan**

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yaitu:

- a) metode pengujian ini menggunakan tanah jenuh sempurna serta bebas udara. Zat cair yang dialirkan melalui media porus adalah air. Pengaliran dengan zat cair lainnya seperti limbah kimia dapat dilakukan dengan menggunakan tata cara yang sesuai dengan metode pengujian. Namun dalam metode pengujian ini dianjurkan untuk menggunakan air sebagai zat cair yang dialirkan melalui media tersebut.
- b) dalam pengujian ini diberlakukan hukum Darcy sehingga kelulusan air tidak dipengaruhi oleh gradien hidraulik. Keabsahan hukum Darcy dapat dievaluasi dengan pengukuran kelulusan air benda uji pada 3 (tiga) gradien hidraulik. Jika seluruh pengukuran memiliki nilai yang sama (dengan perbedaan 25%), maka hukum Darcy dapat diberlakukan. Namun, jika gradien hidraulik yang bekerja pada benda uji itu berbeda berarti kondisi tegangan akan berubah pula, dan jika benda uji mudah dipampatkan, volume benda uji akan berubah, sehingga beberapa perubahan dalam kelulusan air akan terjadi, jika gradien hidraulik mengalami perubahan meskipun hukum Darcy masih berlaku.
- c) korelasi antara hasil yang diperoleh dari pengujian ini dan kelulusan air yang dilakukan di lapangan masih belum sepenuhnya dapat dilakukan. Berdasarkan pengalaman kadang-kadang memperlihatkan bahwa pola aliran pada benda uji tidak seharusnya sama dengan pola aliran pada skala besar di lapangan sehingga kelulusan air yang diukur pada benda uji yang kecil ini tidak perlu sama dengan nilai skala yang besar ini. Karena itu, hasil yang akan digunakan di lapangan memerlukan beberapa pertimbangan tenaga profesional.
- d) metode pengujian ini dapat digunakan untuk tanah tak terganggu atau contoh tanah yang dipadatkan dengan nilai sama atau lebih kecil dari  $1 \times 10^{-3}$  cm/detik.



Kelulusan air dari tanah yang memiliki nilai lebih besar dari  $1 \times 10^{-3}$  cm/detik dapat ditentukan dengan menggunakan metode pengujian SNI 2435:2008.

- e) air pengujian yang meliputi:
- 1) jenis air pengujian yang digunakan dalam pengaliran melalui benda uji sama dengan air pengujian dalam sel triaksial seperti air ledeng dapat digunakan sebagai air pengujian. Jenis air yang digunakan harus dijelaskan dalam laporan tersebut. Interaksi kimia antara cairan pengujian dan material porus akan memberikan variasi nilai kelulusan air. Air suling akan dapat memberikan hasil kelulusan air tanah lempungan yang lebih rendah. Untuk hal ini, air suling tidak selalu dianjurkan penggunaannya sebagai air pengujian. Air pengujian yang banyak digunakan oleh laboran adalah air yang dapat diperoleh dari pelarutan 6,8 gram  $\text{CaSO}_4$  yang tidak berhidrat, yang dicampur dengan 10 liter air bebas udara yaitu air suling. Larutan  $\text{CaSO}_4$  ini tidak meningkatkan atau tidak menurunkan kelulusan air tanah lempungan yang berarti. Di daerah yang memiliki air ledeng berupa air yang sangat berpayau, larutan  $\text{CaSO}_4$  sangat dianjurkan untuk digunakan.
  - 2) air bebas udara, untuk mengeluarkan udara sebanyak mungkin dari dalam benda uji, air bebas udara harus digunakan. Air bebas udara ini biasanya diperoleh dengan mendidihkan air ledeng atau dengan menyempotkan butiran air yang halus seperti berkabut ke dalam bejana pengalir yang dihubungkan dengan sumber vakum, atau dengan mengadakan air dalam suatu tempat dan dihubungkan dengan sumber vakum. Jika diperoleh dari mendidihkan air, perlu memberikan perhatian bukan hanya terhadap evaporasi air yang cukup banyak, namun juga dapat mempengaruhi konsentrasi garam yang cukup tinggi di dalam air pengujian yang diinginkan. Untuk mencegah melarutnya kembali udara ke dalam air, air bebas udara jangan berhubungan langsung dengan udara luar yang ada sekelilingnya dalam suatu periode tertentu yang cukup panjang.
- f) semua alat ukur yang digunakan harus dalam kondisi yang laik pakai dan masih memenuhi persyaratan.

## 5 Peralatan dan fungsi

Peralatan uji kelulusan air (lihat Lampiran A Gambar A.1) terdiri atas beberapa sistem tekanan air, alat perubahan volume serta sel triaksial (lihat Lampiran A Gambar A.2) dan dilengkapi dengan peralatan timbangan, pembentuk benda uji dan pengontrol tekanan.

### 5.1 Sel triaksial

Sebuah unit peralatan yang dilengkapi dengan silinder tembus pandang, dan penutup bagian atas dan landasan bawah. Di bagian penutup dan alas sel triaksial dilengkapi dengan karet sil agar tekanan sel dapat dipertahankan.

Sel triaksial dapat digunakan untuk mengamati perubahan tinggi benda uji, yang dilakukan melalui pembacaan mistar berskala yang dipasang pada dinding sel atau alat lainnya atau dengan pengamatan piston pembebanan atau batang pengukur regangan yang dipasang pada plat sel bagian atas dan dihubungkan dengan arloji ukur atau alat pengukur lainnya. Piston atau batang pengukur regangan harus dilengkapi dengan karet sil ("O" ring) yang digabungkan dengan plat bagian atas juga dapat dibebani dengan gaya yang cukup dan mengimbangi tekanan sel yang bekerja di atas penampang potongan melintang piston melalui karet sil. Jika terjadi deformasi dapat diukur dengan alat penunjuk deformasi yang dilengkapi dengan arloji ukur atau mistar berskala 0,01 mm atau dengan alat yang lebih baik yang memiliki jarak ukur yang cukup. Setiap peralatan pengukuran lainnya yang memenuhi persyaratan di atas sesuai keperluannya dapat digunakan.



Untuk memiliki fasilitas pembuangan udara, maka sistem penjenjutan, tiga saluran drainase ke benda uji yaitu 1 saluran di atas dan 2 saluran di bawah perlu disiapkan. Saluran drainase dapat diamati melalui katup yang tidak memberikan dampak terhadap perubahan volume, seperti katup dengan klep yang berbentuk bola dan dirancang sedemikian rupa sehingga ruangan yang tidak berfungsi dalam saluran dapat diperkecil.

### 5.1.1 Bagian-bagian triaksial

Hal yang perlu diperhatikan pada bagian-bagian triaksial meliputi:

- a) sel dapat menahan tekanan sebesar tekanan balik ditambah dengan tekanan efektif konsolidasi;
- b) sel terdiri atas silinder, penutup bagian atas, dan landasan bagian bawah;
- c) silinder dianjurkan terbuat dari bahan tembus pandang, atau dilengkapi lubang pengamat yang tembus pandang agar perilaku benda uji dapat diamati;
- d) penutup bagian atas dilengkapi dengan katup pengeluaran udara dan katup pengisi oli;
- e) landasan bagian bawah dilengkapi dengan masing-masing 1 katup: pengatur tekanan air sel konstan, pengatur tekanan balik untuk penjenjutan, pengatur untuk mengatur tekanan air pori, dan pengatur untuk menghisap udara yang terperangkap dalam contoh;

### 5.1.2 Penutup dan alas benda uji

Penutup dan alas yang kaku dan kedap air akan digunakan untuk menyangga benda uji dan dilengkapi dengan penyaluran air yang mudah mencapai atau melalui untuk dan dari benda uji. Diameter atau lebar penutup dan alas sama dengan diameter atau lebar benda uji dengan penyimpangan  $\pm 5\%$ . Alas akan mencegah bocoran, pergerakan lateral atau kemiringan dan bagian penutup di desain untuk menerima piston atau batang pengukur regangan. Jika peralatan ini digunakan, hubungan permukaan antara piston dan penutup atas akan berada ditengah-tengah penutup. Permukaan dari alas dan penutup atas benda uji yang berhubungan dengan membran karet dengan kondisi yang bebas dari rentangan dan tegangan harus cukup rapat air.

Adapun penutup dan alas benda uji meliputi antara lain:

- a) harus di desain agar sistem drainase pada kedua ujung benda uji berjalan dengan baik dan benar;
- b) terbuat dari bahan yang kaku, tidak berkarat, kedap air, berbentuk bulat;
- c) berat tutup benda uji dan batu pori bagian atas harus cukup ringan agar tidak merubah kondisi benda uji;
- d) diameter tutup dan alas harus sama dengan diameter benda uji yang diuji;
- e) alas benda uji melekat langsung pada landasan bagian bawah untuk mencegah pergerakan horizontal.

## 5.2 Membran karet

Membran yang digunakan untuk membungkus benda uji yang dapat mencegah terjadinya bocoran, harus diperiksa dengan hati-hati sebelum digunakan dan jika dijumpai kerusakan atau lubang kecil maka membran karet harus dibuang. Untuk memperkecil terjadinya regangan pada benda uji, diameter dan lebar membran karet sebelum direntangkan adalah antara 90 - 95% dari ukuran benda uji. Membran karet ini akan dipasang dan ditutup rapat dialas dan penutup atas benda uji yang tidak bertekanan dengan memasang karet berbentuk O, diameter atau lebar dalam lebih kecil dari 90% dari diameter atau lebar alas dan penutup benda uji atau dengan metode lain sehingga diperoleh hasil penutupan yang rapat air.



Membran harus diuji untuk mengetahui kerusakan dengan menempatkan membran dibagian kedua ujungnya yang ditutup rapat air dengan karet berbentuk O yang selanjutnya diberi sedikit tekanan kedalam membran ini dan kemudian direndam kedalam air. Jika gelembung udara terjadi dari salah satu lubang membran karet ini atau jika adanya kerusakan, maka membran ini harus dibuang.

### 5.3 Batu pori

Batu pori terbuat dari silikon karbit, aluminium oksid, atau material lain yang tidak dipengaruhi oleh benda uji atau cairan yang dapat meresap kedalam pori. Lempengan batu pori memiliki permukaan yang datar dan halus dan tidak dijumpai keretakan dan kerusakan. Batu pori ini harus di cek secara rutin untuk memperoleh jaminan bahwa dalam batu pori ini tidak tersumbat.

- a) batu pori memiliki diameter atau lebar yang sama dengan diameter lebar benda uji dengan penyimpangan  $\pm 5\%$  dan dengan ketebalan yang cukup untuk mencegah terjadinya kerusakan.
- b) kelulusan air dari batu pori harus lebih besar dari kelulusan air benda uji.

### 5.4 Kertas filter

Jika diperlukan, untuk mencegah masuknya material kedalam ruang pori dari batu pori, selembur atau beberapa lembar kertas filter harus ditempatkan diantara benda uji dan batu pori bagian atas dan bawah. Kertas filter ini harus memiliki rintangan air yang kecil dan dapat diabaikan. subpasal 5.16.2 diperlukan untuk menjamin keberhasilan ini sehingga rintangannya kecil. Bahan kertas filter ini terbuat dari bahan yang tidak larut dalam air, dan dengan koefisien kelulusan sekitar  $10^{-5}$  cm/s.

### 5.5 Peralatan pemadatan benda uji

Peralatan (termasuk alat pemadat dan silinder) yang digunakan harus memenuhi persyaratan dan spesifikasi metode pemadatan.

### 5.6 Pengeluar contoh tanah

Jika material yang akan diuji masih dalam tabung contoh tanah, maka tanah ini umumnya akan dikeluarkan dari tabung contoh tanah yang menggunakan pengeluar contoh tanah. Pengeluar contoh tanah harus mampu untuk mengeluarkan inti tanah dari dalam tabung contoh tanah dengan arah perjalanan yang sama ketika contoh tanah masuk dalam tabung contoh tanah dan dengan gangguan terhadap contoh tanah yang minimum. Jika inti tanah dikeluarkan tidak vertikal, kehati-hatian harus dilakukan untuk menghindari terjadinya tegangan yang tidak merata terhadap inti tanah akibat berat sendiri tanah tersebut. Kondisi pada saat contoh tanah dikeluarkan akan ditentukan oleh arah pengeluaran contoh tanah, tetapi yang utama adalah perhatian untuk memiliki derajat gangguan contoh tanah yang minimum.

### 5.7 Peralatan pembentuk benda uji

Peralatan khusus untuk membentuk benda uji sesuai ukuran yang diinginkan akan bervariasi tergantung pada kualitas dan sifat dari contoh tanah, namun demikian beberapa peralatan dapat digunakan sebagai berikut: mesin pemotong, gergaji kawat dengan diameter sekitar 0,5 mm, sendok berbentuk pipih, pisau, pamarut dari baja untuk contoh tanah berupa lempung sangat keras, silinder belah untuk memotong bagian ujung benda uji, pisau baja untuk pemotongan akhir bagian ujung benda uji.



## 5.8 Perlengkapan untuk mengukur dimensi benda uji

Perlengkapan yang digunakan untuk mengukur dimensi benda uji harus mampu untuk mengukur benda uji dengan ketelitian 0,01 mm atau yang lebih teliti lagi dan dengan konstruksi yang tidak akan mengganggu benda uji jika digunakan.

## 5.9 Pencatat waktu dan timbangan

Untuk mencatat waktu diperlukan pencatat waktu dengan ketelitian sampai detik. Timbangan harus mampu untuk menentukan massa benda uji dan harus dipilih berdasarkan spesifikasi ASTM D 4753. Berat massa benda uji yang lebih ringan dari 100 gram akan ditimbang oleh timbangan dengan ketelitian 0,01 gram. Massa benda uji dengan berat 100 gram atau lebih berat harus ditimbang oleh timbangan dengan ketelitian 0,1 gram. Massa benda uji dengan berat lebih dari 1000 gram harus ditimbang oleh timbangan dengan ketelitian 1,0 gram.

## 5.10 Peralatan untuk menempatkan benda uji

Peralatan untuk menempatkan benda uji dalam sel triaksial adalah silinder dan cincin untuk membesarkan dan menempatkan karet berbentuk O pada bagian dasar dan penutup bagian atas untuk mengikat dengan membran karet sehingga tidak bocor.

## 5.11 Pompa vakum

Pompa vakum digunakan untuk membantu proses pengeluaran gelembung udara dalam sistem pengukuran kelulusan dan penjenjuran air benda uji.

## 5.12 Perlengkapan untuk mempertahankan temperatur

Temperatur pengukur kelulusan air, benda uji, dan tabung reservoir beserta cairan tidak mengalami perbedaan lebih dari  $\pm 3$  °C ( $\pm 5,7$  °F). Umumnya pelaksanaan pengujian dilakukan di dalam ruangan dengan temperatur yang relatif tetap. Jika ruangan tersebut tidak tersedia, perlengkapan tersebut akan ditempatkan dalam ruang khusus dan berisolasi, atau perlengkapan lainnya yang dapat mempertahankan temperatur dengan toleransi yang telah ditentukan. Temperatur harus diukur dan dicatat secara periodik.

## 5.13 Cawan kadar air

Cawan kadar air yang digunakan harus mengikuti cawan yang digunakan dalam SNI 1965:2008.

## 5.14 Oven pengering

Oven pengering harus memiliki pengatur temperatur yang tetap dengan suhu  $\pm 105$ °C.

## 5.15 Sistem tekanan

Sistem tinggi tekanan tetap (Metode A), tekanan menurun (Metode B dan C) atau kecepatan pengaliran tetap (Metode D) dapat digunakan sebagai berikut:



#### 5.15.1 Tinggi tekanan tetap (Metode A)

Sistem peralatan harus mampu mempertahankan tetap tekanan air dengan penyimpangan  $\pm 5\%$  dan termasuk rata-rata tekanan air dengan toleransi yang ditentukan. Demikian pula, kehilangan tinggi tekanan air melalui benda uji harus tetap dipertahankan dengan penyimpangan  $\pm 5\%$  dan akan diukur dengan akurasi yang sama atau lebih. Tekanan akan diukur oleh manometer, transduser tekanan listrik, atau peralatan lain yang akurat dan sesuai.

#### 5.15.2 Tekanan menurun (Metode B dan C)

Sistem akan dapat mengukur kehilangan tinggi tekanan air, sehingga penyimpangan gradien hidraulik hanya  $\pm 5\%$  atau lebih kecil pada setiap saat. Selanjutnya, perbandingan kehilangan tinggi tekan air awal dibagi oleh kehilangan tinggi tekanan air akhir pada suatu interval waktu dapat diukur dengan penyimpangan  $\pm 5\%$ . Kehilangan tinggi tekanan air dapat diukur dengan manometer, transduser tekanan listrik, pipet berskala, atau peralatan ukur lain yang sesuai dan teliti. Pengujian tekanan air menurun dapat dilaksanakan dengan atau tanpa tekanan air pengeluaran yang tetap atau meningkatkan tekanan air pengeluaran.

#### 5.15.3 Kecepatan aliran tetap (Metode D)

Sistem harus mampu mempertahankan kecepatan aliran tetap melalui benda uji dengan penyimpangan  $5\%$  atau lebih kecil. Pengukuran aliran dapat dilakukan dengan alat pengontrol tekanan, penyuntik yang dikalibrasi, pipet bergradasi atau alat lainnya yang sesuai dan teliti. Kehilangan tinggi air melalui benda uji akan diukur dengan penyimpangan  $5\%$  atau lebih kecil yang menggunakan transduser tekanan elektrik atau dengan alat lainnya yang sesuai dan teliti.

#### 5.15.4 Sistem tekanan balik

Sistem saluran air memiliki kemampuan untuk menggunakan tekanan balik pada benda uji dalam fasilitas penjenjutan. Sistem harus mampu mempertahankan tekanan balik yang digunakan selama waktu pengukuran kelulusan air. Sistem tekanan balik harus mampu mengamati dan mengukur tekanan balik dengan penyimpangan  $5\%$  atau lebih kecil dari tekanan yang digunakan.

Tekanan balik dapat dilengkapi dengan sistem pemberian gas bertekanan, pemberian beban pada piston, atau metode yang mampu menggunakan, mempertahankan, mengukur tekanan balik dengan toleransi yang telah ditentukan dalam aliran ini. Penggunaan tekanan gas secara langsung ke cairan akan melarutkan gas dalam cairan. Sudah ada suatu cara untuk memperkecil terjadinya larutnya gas dalam cairan tekanan balik, termasuk pemisahan antara gas dan cairan melalui balon karet dan secara berulang kali untuk memisahkan cairan dengan air yang bebas gelembung udara.

#### 5.16 Sistem pengukuran aliran

Kedua volume aliran kedalam dan aliran keluar pada benda uji dapat diukur jika tidak terjadi kebocoran, aliran secara tetap dan tidak terjadi konsolidasi maupun pengembangan dapat diperiksa oleh alat lainnya. Volume aliran dapat diukur dengan penampung volume bertanda ukur, pipet bertanda ukur, pipa tegak dengan dilengkapi transduser tekanan elektrik atau peralatan pengukur volume lainnya yang sesuai dan teliti.



### 5.16.1 Ketelitian pengukuran aliran

Diperlukan ketelitian untuk pengukuran jumlah aliran dengan ketelitian 5% atau lebih kecil yang dilakukan dengan interval waktu. Sistem pengukuran aliran yang memiliki ruang minimum dan mampu menyelesaikan dan penangkapan gelembung udara dengan cepat. Sistem untuk mengatasi perubahan tekanan dapat diperkecil yang menggunakan sistem pengukuran aliran yang kaku. Pipa yang kaku, seperti pipa metalik atau pipa plastik yang dapat digunakan.

### 5.16.2 Kehilangan tinggi tekanan

Kehilangan tinggi tekanan dalam pipa, katup, batu pori, dan kertas filter dapat mengakibatkan kesalahan. Untuk menjaga terjadinya kesalahan tersebut, alat pengukur aliran akan dirakit dengan dan tanpa benda uji dan kemudian sistem saluran air diisi air. Jika digunakan tekanan tetap atau tekanan menurun akan digunakan tekanan air atau tekanan tinggi air dalam pengujian benda uji dengan kecepatan aliran yang diukur dengan ketelitian 5% atau lebih besar. Kecepatan aliran paling sedikit 10 kali lebih besar dari kecepatan aliran yang diukur jika benda uji ditempatkan di dalam alat pengukur aliran dan digunakan tekanan air atau tinggi tekanan air yang sama. Jika kecepatan tetap aliran akan digunakan, pengukuran kecepatan aliran yang akan digunakan pada benda uji harus dialirkan ke alat pengukuran kecepatan dan kehilangan tekanan tinggi air. Kehilangan tekanan air tanpa benda uji harus lebih kecil 0,1 kalinya dari kehilangan tekanan air dengan adanya benda uji.

## 5.17 Sistem tekanan sel

Sistem untuk memberikan tekanan pada alat sel triaksial harus mampu memberikan tekanan dan mempertahankan tekanan sel dengan penyimpangan sebesar 5% dari tekanan yang digunakan. Namun demikian, tekanan efektif pada benda uji (yaitu besar perbedaan antara tekanan sel dan tekanan air pori) harus dipertahankan sesuai nilai yang diinginkan dengan ketelitian 10% atau lebih. Perlengkapan untuk memberikan tekanan sel terdiri dari tabung penyimpanan air yang dihubungkan dengan sel pengukur kecepatan aliran yang berisi sebagian air bebas gelembung udara, sedangkan bagian atas tabung penyimpanan air ini dihubungkan dengan pemberian gas bertekanan atau sumber tekanan lain.

Air yang bebas gelembung udara ini umumnya digunakan untuk cairan di dalam sel untuk memperkecil potensi terjadinya difusi kedalam air melalui selaput karet pada benda uji. Cairan lainnya seperti oli yang memiliki daya larut udara kecil, juga dapat digunakan maupun tidak memberikan reaksi terhadap bagian dari alat pengukur kecepatan aliran.

Juga penggunaan selang dengan panjang antara 5 meter sampai 7 meter yang dihubungkan diantara alat pemberi tekanan cairan sel dengan sel akan membantu keterlambatan timbulnya udara dalam sel cairan dan mengurangi perubahan tinggi rendahnya melarutnya udara dalam sel cairan dan mengurangi perubahan tinggi rendahnya melarutnya udara dalam sel.

## 6 Benda uji

### 6.1 Ukuran

Setiap benda uji harus memiliki ukuran dengan diameter minimum 25 mm (1,0 in) dan tinggi minimum 25 mm (1,0 in). Tinggi dan diameter benda uji harus diukur dengan ketelitian 0,01 mm atau lebih teliti lagi. Masing-masing tinggi dan diameter dari benda-benda uji memiliki perbedaan penyimpangan tidak melebihi dari  $\pm 5\%$ . Permukaan benda uji mungkin



tidak rata, tetapi tidak memiliki lekukan yang cukup dalam sehingga tinggi atau diameter benda uji memiliki penyimpangan dengan variasi tidak lebih kecil dari  $\pm 5\%$ . Diameter dan tinggi setiap benda uji minimal 6 kali lebih besar dari ukuran butiran tanah yang terbesar di dalam benda uji. Jika setelah selesai pengujian, dijumpai ukuran butir lebih besar dari yang disyaratkan, maka kondisi ini harus dijelaskan dalam laporan.

Umumnya kelulusan air dilakukan pada benda uji berbentuk silinder. Pengujian ini masih mungkin dilakukan pada peralatan khusus untuk benda uji berbentuk prisma dengan lebar yang mengacu kepada subpasal 7.1.

## 6.2 Benda uji tidak terganggu

Benda uji tak terganggu harus disiapkan dari bagian yang cukup mewakili dari contoh tanah yang tidak terganggu sesuai dengan SNI 03-4148-1996 atau *ASTM D 2113*, serta menghindari gangguan selama dan dalam angkutan menurut keperluan untuk material grup C dalam *ASTM D 4220*.

Benda uji yang diperoleh dengan tabung tipis atau pemboran dapat dilakukan tanpa pembentukan benda uji terlebih dahulu karena untuk memperoleh sifat tanah tidak terpengaruh oleh pengamjikan tanah kecuali untuk pemotongan bagian ujung benda uji dan yang tegak lurus dengan sumbu memanjang dari benda uji. Jika pelaksanaan pengamjikan tanah mengakibatkan gangguan terhadap contoh tanah, tanah yang terganggu harus dibentuk. Jika pengambilan butiran batu sehingga menghasilkan kerusakan dari pembentukan benda uji sehingga menghasilkan rongga pada permukaan dari benda uji dan menyebabkan panjang atau diameter bervariasi lebih dari  $\pm 5\%$ , rongga harus diisi dan ditambah secukupnya tidak berlebihan dengan material yang telah hancur yang diperoleh dari pembentukan benda uji. Bagian ujung benda uji harus dipotong. Pengisian dan penambahan pasta tanah yang berlebihan pada retakan, bidang patahan atau penampakan lainnya dapat mempengaruhi aliran air. Beberapa benda uji harus dibentuk, jika memungkinkan dalam kondisi lingkungan dengan perubahan kadar air cukup minimal. Suatu ruangan dapat digunakan dengan kelembaban yang tinggi biasanya dapat digunakan untuk mempertahankan kadar airnya. Massa dan ukuran benda uji harus ditentukan dengan toleransi seperti subpasal 5.8 dan 5.9.

Adapun penyiapan benda uji dapat dibentuk dengan 2 cara yaitu:

- a) Contoh tanah dikeluarkan dari tabung atau dipotong dari contoh tanah berbentuk blok tanah dan diletakkan pada landasan alat pembentuk, lalu dibentuk sebagai berikut.
  - 1) menggunakan pisau/gergaji kawat sesuai ukuran yang dibutuhkan;
  - 2) tinggi dan diameter harus diukur secara tepat;
  - 3) kadar air dan berat isi benda uji harus ditentukan;
  - 4) berat isi dan derajat kejenuhan harus dihitung.
- b) Benda uji dibentuk langsung dengan cara:
  - 1) masukkan cetakan ke dalam tabung contoh atau blok contoh tanah;
  - 2) keluarkan tabung cetak beserta benda uji dengan alat pengeluar contoh tanah dari tabung contoh tanah;
  - 3) potong contoh tanah dengan pisau;
  - 4) bersihkan tanah yang berada di sekeliling tabung cetak;
  - 5) keluarkan benda uji dari tabung cetak.

Benda uji harus segera dipasang pada alat uji kelulusan. Nilai kadar air dari benda uji yang dibentuk dilakukan dengan mengikuti SNI 1965:2008.



### 6.3 Benda uji hasil pemadatan di laboratorium

Bahan yang akan diuji harus disiapkan dan dipadatkan dalam cetakan sesuai spesifikasi yang diinginkan. Jika benda uji ditempatkan dan dipadatkan lapis demi lapis, lapisan permukaan pemadatan sebelumnya harus diperkasar lebih dulu dengan garpu dan alat lainnya, kecuali pemberi pekerjaan menyatakan khusus bahwa perkasaran permukaan tidak untuk dilakukan. SNI 1742:2008 dan SNI 1743:2008 adalah dua metode pemadatan tanah, namun masih ada metode lainnya yang diminta oleh pemberi pekerjaan mungkin dapat digunakan selama metode ini diuraikan dalam laporan tersebut. Gumpalan material besar tidak harus dipecahkan lebih dulu sebelum dipadatkan kecuali jika diketahui bahwa material ini akan dipecahkan di lapangan atau pemberi pekerjaan menentukan bahwa ukuran gumpalan material untuk dikurangi. Baik gumpalan yang keras maupun partikel yang individu harus berukuran tidak lebih besar dari  $1/6$  dan tinggi maupun diameter benda uji. Setelah pemadatan di laboratorium dilaksanakan, maka benda uji dapat dibentuk sebagai berikut:

- a) masukkan cetakan ke dalam silinder alat pemadatan;
- b) keluarkan tabung cetak beserta benda uji dengan pisau pemotong tanah;
- c) potong contoh tanah dengan pisau;
- d) bersihkan tanah yang berada di sekeliling tabung cetak;
- e) keluarkan benda uji dari tabung cetak.

Bagian permukaan ujung yang diperkasar, ukuran dan berat benda uji harus memenuhi toleransi persyaratan dalam subpasal 5.8 dan 5.9. Setelah ukuran dan massa ditentukan, benda uji segera dipasang pada alat pengukur kelulusan air. Nilai kadar air benda uji ini harus ditentukan dan mengikuti SNI 1965:2008.

### 6.4 Metode persiapan lainnya

Metode lain untuk persiapan benda uji masih diijinkan jika ditentukan oleh pemberi pekerjaan. Metode persiapan benda uji harus diidentifikasi dalam laporan. Setelah tinggi, diameter, massa dan kadar air benda uji telah ditentukan, berat isi harus dihitung. Juga derajat kejenuhan awal harus ditentukan (keterangan ini akan digunakan kemudian dalam tahapan pemberian tekanan balik).

## 7 Tata cara pengujian

Metode pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelulusan air pada posisi tegangan efektif yang terkontrol. Kelulusan air bervariasi sesuai dengan variasi angka pori dan juga akan berubah jika tegangan efektif dan angka pori berubah. Untuk menentukan hubungan antara kelulusan air dan angka pori, pengujian pemberian tekanan air harus dilakukan pada tegangan efektif yang berbeda.

Pada saat pengujian akan dimulai, seluruh peralatan harus siap untuk digunakan. Tata cara pengujian ini akan diuraikan sebagai berikut dan dapat mengikuti bagan alir tata cara pengujian seperti pada Gambar A.3.

### 7.1 Pemasangan benda uji

- a) Menyiapkan dua lembar kertas filter dengan bentuk dan ukuran sama dengan potongan penampang benda uji. Rendam masing-masing dua buah batu pori dan lembaran kertas filter ke dalam cawan berisi air pengujian.
- b) Tempatkan membran karet pada alat pengembang membran karet. Pulas tepi bagian ujung penutup dengan lemak yang mampu digunakan tekanan vakum tinggi.



Tempatkan batu pori pertama pada bagian alas dan tempatkan kertas filter pertama di atas batu pori selanjutnya diikuti dengan menempatkan benda uji. Tempatkan kertas filter kedua di atas benda uji dan diikuti dengan penempatan batu pori dan penutup atas benda uji. Tempatkan membran karet sekeliling benda uji yang menggunakan alat pengembang membran karet atau yang menggunakan alat pengembang cincin lain yang memenuhi persyaratan, tempatkan satu atau lebih cincin karet untuk memperoleh hubungan kondisi membran karet dengan bagian alas dan penutup atas benda uji agar rapat air.

- c) Pasang sel triaksial dan kencangkan baut pada batang penguat dan isi dengan air suling. Turunkan piston pembebanan hingga menyentuh penutup atas benda uji dan kunci yang menggunakan baut pengunci agar tidak bergerak. Hubungkan sistem saluran pengaliran dengan penutup atas. Hubungkan sistem saluran tekanan sel dengan saluran sel triaksial dan sistem saluran pengaliran dengan saluran pengeluarannya bawah ke benda uji. Isi penyimpanan air tekanan sel dengan air suling atau cairan lain yang memenuhi persyaratan, dan sistem saluran air dengan air pengujian yang bebas udara. Berikan tekanan sel yang cukup kecil antara 10 hingga 50 kPa dan berikan tekanan pemasukan atas dan bawah ke benda uji dengan tekanan lebih kecil dari tekanan sel, dan jika air pengujian melalui sistem aliran. Setelah seluruh udara telah dikeluarkan dari sistem aliran, tutup seluruh katup pengontrol. Setelah penjenjutan dari sistem dan benda uji atau pengujian kelulusan air sedang dilaksanakan, maka pemberian tekanan sebagai tekanan konsolidasi yang lebih besar dari tekanan sel dapat dilaksanakan.

## 7.2 Perendaman benda uji (sebagai pilihan lain)

Untuk membantu proses penjenjutan, benda uji dapat direndam yang menggunakan pompa vakum yang dilakukan pada bagian atas benda uji. Tekanan atmosfer bekerja pada dasar benda uji melalui saluran pemasukan bawah dan besarnya tekanan vakum yang digunakan untuk menghasilkan terjadinya gradien hidraulik melalui luas potongan benda uji lebih kecil dari tekanan yang akan digunakan dalam pengukuran kelulusan air.

Penjenjutan melalui tekanan vakum dapat dilaksanakan jika pada benda uji dijumpai ruang pori yang menerus. Penjenjutan melalui tekanan vakum hanya direkomendasikan untuk benda uji yang memiliki derajat kejenuhan awal dibawah 70%. Benda uji akan mengembang jika dihubungkan dengan air sehingga tekanan efektif akan cenderung berlawanan dengan proses pengembangan. Namun demikian, material yang memiliki kecenderungan mengembang, dan tekanan efektif yang digunakan lebih besar atau sama dengan tekanan pengembangan, benda uji tetap akan mengembang.

## 7.3 Penjenjutan dengan tekanan balik

Untuk menjenuhkan benda uji, pemberian tekanan balik biasanya diperlukan. Gambar A.4 petunjuk pemberian tekanan balik yang diperlukan untuk mencapai penjenjutan dan air yang digunakan dalam tekanan balik ini adalah air suling sehingga sumber udara yang larut dengan air ini adalah udara yang berasal dari dalam benda uji. Jika tekanan udara akan diperhitungkan untuk mengamati tekanan balik, tekanan udara yang terlarut dalam air harus diperhitungkan sehingga akan mengurangi kapasitas air yang digunakan dalam tekanan balik untuk melarutkan udara dalam ruang pori benda uji. Memperkecil masalah yang menggunakan pipa yang panjang (> 5 m) yang kedap udara antara pembatas udara, air dan benda uji, adalah dengan memisahkan air tekanan balik dari udara dengan material atau cairan yaitu yang relatif kedap air dengan udara, dengan penggantian air suling tekanan balik secara berkala, atau dengan cara dan alat lainnya.

Buka katup saluran aliran dan jika gelembung udara yang bebas yang menggunakan tata cara yang dijelaskan pada subpasal 7.1.3. Jika transduser tekanan elektrik atau alat pengukur



lainnya digunakan selama pengujian untuk mengukur tekanan pori atau gradien hidraulik yang digunakan, gelembung udara yang terperangkap harus dialirkan. Lakukan pencatatan pembacaan awal dari tinggi benda uji.

Putar katup untuk menentukan tekanan sel yang digunakan selama penjenjutan benda uji. Berikan tekanan balik secara bersamaan dengan penambahan tekanan sel melalui penambahan tekanan pemasukan air ke bagian bawah dan atas benda uji secara bertahap. Nilai maksimum setiap penambahan tekanan balik secara bertahap harus cukup rendah sehingga setiap bagian dari benda uji tidak memperlihatkan eksese tegangan efektif yang mana benda uji selanjutnya akan dikonsolidasi. Pemberian tekanan efektif selama penjenjutan harus  $< 10$  kPa untuk mengatasi bahaya terpisahnya membran karet dari benda uji. Pertahankan setiap penambahan tekanan untuk suatu periode dari beberapa menit hingga beberapa jam yang tergantung dari sifat benda uji. Untuk membantu pengukuran udara yang terperangkap, gradien hidraulik yang rendah melalui penampang benda uji perlu dilakukan untuk menimbulkan aliran.

Penjenjutan dapat dilaksanakan dengan melakukan cara sebagai berikut.

- a) Penjenjutan dapat dilaksanakan dengan mengukur koefisien B seperti diuraikan pada SNI 03-2455-1991. Benda uji harus dipertimbangkan sehingga diperoleh nilai kejenuhan yang memadai jika (1) nilai  $B \geq 0.95$  atau jika (2) material yang relatif tidak mudah dipampatkan seperti batuan dan jika nilai B tetap tidak berubah dengan pengukuran tekanan yang lebih besar. Nilai B harus diukur sebelum dan sesudah selesai tahap konsolidasi (lihat 7.4). Penentuan nilai B yang akurat hanya dapat dilakukan jika tidak timbul gradien pada benda uji dan seluruh tekanan pori yang diakibatkan oleh pengaliran konsolidasi.  
Koefisien B ditetapkan untuk jenis uji ini adalah perubahan tekanan air pori dalam benda uji dibagi dengan perubahan tekanan sel. Material yang mudah dipampatkan dan jenuh air akan memiliki nilai B sebesar 1,0. Untuk material yang tidak mudah dipampatkan dan jenuh air memiliki nilai B lebih kecil dari 1,0.
- b) Penjenjutan benda uji dapat ditentukan pada akhir pengujian dengan menghitung derajat akhir kejenuhan. Derajat akhir kejenuhan dapat bernilai  $100 \pm 5\%$ . Namun demikian, pengukuran koefisien B seperti diuraikan pada subpasal 7.3.3.1 atau menggunakan beberapa cara lainnya (7.3.3.3) sangat direkomendasikan karena nilai ini sangat berbeda antara nilai sebelum pengujian kelulusan dengan nilai setelah pengujian untuk menentukan bahwa pengujian dilakukan dengan baik.
- c) Cara lain untuk memeriksa penjenjutan, seperti pengukuran perubahan volume benda uji ketika tekanan air pori telah dirubah, dapat digunakan untuk membuktikan data pelaksanaan penjenjutan yang tersedia bagi material yang sama untuk menetapkan bahwa cara menggunakan penjenjutan yang dianjurkan seperti yang diperlukan pada subpasal 7.3.3.1 atau 7.3.3.2.

Penggunaan tekanan balik pada lempung lunak cukup hingga 200 kPa, sedangkan untuk tanah lempung yang lebih padat bisa mencapai 600 kPa. Secara rinci proses penjenjutan dapat dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) pada keadaan tekanan sel 50 kPa, dengan urutan kegiatan :
  - 1) tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial;
  - 2) pasang pengatur tekanan sel sehingga mencapai 50 kPa dan baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan awal dibaca setelah konstan);
  - 3) buka katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial, dan biarkan hingga tekanan air pori konstan minimal selama 15 menit;
  - 4) setelah tekanan air pori konstan, yaitu jika perubahan volume terbaca kurang dari 0,25 mm<sup>3</sup>/menit, baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan akhir); perbedaan antara pembacaan awal dan akhir disebut perubahan volume sel,  $\Delta V_s$ ;



- 5) catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- b) pada keadaan tekanan balik 40 kPa, dengan urutan kegiatan:
- 1) tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial;
  - 2) pasang pengatur tekanan sel sehingga mencapai 40 kPa (berarti 10 kPa kurang dari tekanan sel) dan baca buret pada alat ukur perubahan volume benda uji (= pembacaan awal);
  - 3) buka katup tekanan sel dan katup tekanan balik;
  - 4) tekanan balik dijaga agar tetap konstan;
  - 5) setelah tekanan air pori mencapai 40 kPa, baca buret perubahan volume benda uji (= pembacaan akhir); perbedaan antara pembacaan awal dan akhir disebut perubahan benda uji tanah,  $\Delta V_c$ ;
  - 6) catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- c) pada keadaan tekanan sel ditingkatkan 50 kPa, dengan urutan kegiatan:
- 1) tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial;
  - 2) tingkatkan tekanan sel dan tekanan balik sebesar 50 kPa dan baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan awal);
  - 3) buka katup tekanan sel dan katup tekanan balik;
  - 4) biarkan keadaan hingga tekanan air pori konstan, yaitu jika perubahan volume terbaca kurang dari 0,25 mm<sup>3</sup>/menit;
  - 5) baca buret pada alat ukur perubahan volume sel (= pembacaan akhir); perbedaan antara pembacaan awal dan akhir disebut perubahan volume sel,  $\Delta V_s$ ;
  - 6) catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian;
  - 7) hitung koefisien tekanan air pori B yang menggunakan persamaan:
- $$B = \Delta u / \Delta \sigma_3 \quad (1)$$
- Keterangan:**
- B adalah koefisien tekanan air pori;
- u adalah peningkatan tekanan air pori akibat peningkatan tekanan sel;
- $\Delta \sigma_3$  adalah peningkatan tekanan sel.
- d) pada keadaan B belum mencapai 0,95 ulangi langkah-langkah 2) sampai 7) dengan peningkatan tekanan balik 50 kPa dan peningkatan tekanan sel 50 kPa secara bergantian hingga harga B mencapai 0,95;
- e) catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian;
- f) hitung perubahan volume total,  $\Delta V_t$  pada waktu penjenjutan.

#### 7.4 Konsolidasi

Benda uji dapat dikonsolidasi hingga tekanan efektif sesuai keinginan pemberi tugas melalui pemberian tekanan. Konsolidasi dapat diselesaikan melalui tahapan, jika dibutuhkan. Nilai maksimum tekanan efektif terjadi pada bagian akhir pengukuran aliran benda uji dan nilai minimum tekanan efektif terjadi pada bagian awal pemasukan aliran benda uji.

Benda uji dikonsolidasikan lebih dulu sebelum menggunakan tekanan balik, juga tekanan balik dan tahap konsolidasi dapat diselesaikan secara beraturan jika tekanan balik digunakan cukup perlahan untuk mengurangi potensi perilaku konsolidasi yang berlebihan dari benda uji.

Sebelum pemberian tekanan konsolidasi dan selama konsolidasi dilakukan pencatatan semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.



Tingkatkan tekanan sel hingga tekanan yang diperlukan untuk mencapai tekanan efektif yang digunakan sehingga konsolidasi dapat dimulai. Pengaliran air dilakukan dari bagian bawah atau atas benda uji atau secara bersamaan dari kedua ujung-ujungnya.

(Sebagai pilihan lain) Sebelum pengujian kelulusan air dimulai, catat volume pengaliran keluar untuk memastikan bahwa konsolidasi tahap pertama telah selesai. Sebagai alternatif, pengukuran perubahan tinggi benda uji dapat digunakan untuk memastikan proses konsolidasi selesai.

Tata cara subpasal 7.4.3 ini adalah sebagai salah satu alternatif karena kebutuhan subpasal 7.5 untuk menjamin bahwa benda uji telah mengalami konsolidasi yang memadai selama pengaliran, hal ini karena volume pengaliran yang masuk dan keluar benda uji perbedaan yang tidak berarti. Namun demikian, untuk menentukan nilai  $B$  yang akurat, selesainya konsolidasi harus dipastikan (lihat 7.3.3.1). hal ini direkomendasi bahwa volume pengaliran keluar atau perubahan tinggi benda uji harus dicatat sebagai salah satu cara untuk menentukan selesainya konsolidasi sebelum pengujian dimulai. Juga, pengukuran perubahan tinggi benda uji, tinggi awal benda uji dan menyiapkan peralatan untuk pengecekan tinggi akhir benda uji perlu dicatat.

Adapun proses konsolidasi dapat dilakukan setelah benda uji dijenuhkan dengan tekanan balik, seperti di bawah ini.

- a) pada keadaan tekanan sel ditingkatkan
  - 1) tutup katup tekanan sel dan katup tekanan balik pada sel triaksial;
  - 2) tingkatkan tekanan sel dengan memutar pengatur tekanan sel hingga perbedaan antara tekanan sel dan tekanan balik sesuai dengan tekanan efektif konsolidasi;
  - 3) buka katup tekanan sel dan biarkan keadaan hingga tekanan air pori konstan (sama dengan tekanan sel);
- b) pada waktu konsolidasi, dilakukan dengan
  - 1) baca buret perubahan volume benda uji tanah (= pembacaan awal);
  - 2) buka katup tekanan balik pada sel triaksial;
  - 3) baca buret perubahan volume benda uji pada waktu-waktu ( $t$ ) 1, 4, 9, 16, 25 menit dan seterusnya; konsolidasi dianggap selesai apabila perubahan volume terbaca kurang dari  $0,25 \text{ mm}^3/\text{menit}$ ;
  - 4) catat semua hasil pembacaan pada formulir pengujian.
- c) hubungan antara waktu dan perubahan volume serta perubahan tekanan air pori dilakukan dengan
  - 1) gambar hubungan antara  $\sqrt{t}$  dan perubahan volume  $V$  atau hubungan antara  $\log t$  dan perubahan volume  $\Delta V$ ;
  - 2) hitung waktu terjadi 100% konsolidasi (%);
  - 3) hitung perubahan volume total selama penjenjuran dan konsolidasi, tinggi contoh dan luas contoh setelah konsolidasi.

## 7.5 Pengujian kelulusan

### 7.5.1 Gradien hidraulik

Jika memungkinkan, gradien hidraulik yang digunakan untuk pengukuran kelulusan air harus sama dengan kondisi yang diharapkan di lapangan. Pada umumnya, nilai gradien hidraulik mulai  $< 1$  hingga 5 yang mencakup seluruh kondisi lapangan. Namun demikian, penggunaan dari gradien hidraulik yang rendah dapat memberi petunjuk untuk waktu pengujian yang sangat lama bagi material yang memiliki kelulusan air yang rendah (lebih kecil dari  $1 \times 10^{-6} \text{ cm/detik}$ ). Gradien hidraulik yang sedikit lebih besar biasanya digunakan di laboratorium untuk mempercepat pengujian, tetapi gradien yang sangat berlebihan harus



ditinggalkan karena tekanan aliran yang tinggi dapat mempengaruhi konsolidasi terhadap material, material dapat dihanyutkan dari benda uji atau butiran halus dapat hanyut ke bagian hilir dan menutup ujung saluran pengeluaran dari benda uji. Pengaruh ini dapat meningkatkan atau menurunkan kelulusan air. Jika nilai gradien tidak ditentukan oleh pemberi pekerjaan, Tabel B.1 Hubungan antara nilai kelulusan air dengan nilai perkiraan gradien hidraulik terlampir dapat digunakan sebagai rekomendasi dalam pengujian.

Tekanan aliran yang berhubungan dengan gradien hidraulik yang besar dapat mengkonsolidasikan tanah lunak dan memampatkan benda uji dan mengurangi nilai kelulusan air. Tekanan ini diperlukan untuk menggunakan gradien hidraulik yang lebih kecil ( $< 10$ ) seperti untuk benda uji tanah lunak tersebut.

### 7.5.2 Ketentuan pengujian

Pengaliran air melalui benda uji dilakukan dengan penambahan tekanan pemasukan bawah melalui sistem saluran pemasukan air ke dalam benda uji (lihat 7.3.2). Tekanan pengeluaran atas melalui sistem saluran tekanan balik terhadap benda uji tidak dikurangi karena gelembung udara yang larut dengan air dalam benda uji selama tekanan balik dapat menimbulkan masalah jika tekanan ini dikurangi. Tekanan balik harus dipertahankan selama tahap pengaliran.

### 7.5.3 Pengujian tekanan tetap (Metode A)

Pengukuran dan pencatatan kehilangan tekanan air yang melalui benda uji dengan menyesuaikan ketentuan subpasal 5.15.1 dan 5.16.2. Kehilangan tekanan air melalui penampang benda uji harus dijaga tetap  $\pm 5\%$ . Ukur dan catat secara periodik jumlah aliran ke dalam dan juga jumlah aliran ke luar. Tekanan aliran yang berhubungan dengan gradien hidraulik yang besar dapat mengkonsolidasikan tanah lunak dan memampatkan benda uji dan mengurangi nilai kelulusan air. Tekanan ini diperlukan untuk menggunakan gradien hidraulik yang lebih kecil ( $< 10$ ) seperti untuk benda uji tanah lunak tersebut. Lanjutkan pengaliran hingga diperoleh paling sedikit 4 nilai kelulusan air pada setiap selang waktu: (1) perbandingan antara pengaliran keluar terhadap pengaliran ke dalam antara 0,75 - 1,25 dan (2) kelulusan air sudah langgeng. Kelulusan air akan dipertimbangkan sudah langgeng jika empat atau lebih penentuan kelulusan air secara berurutan berada dalam kisaran  $\pm 25\%$  dari nilai rata-rata-rata  $k \geq 1 \times 10^{-10}$  meter/detik atau dalam kisaran  $\pm 50\%$  untuk  $k < 1 \times 10^{-10}$  meter/detik, dan gambarkan hubungan kelulusan air dengan waktu bagi kondisi yang tidak memperlihatkan kecenderungan kenaikan dan penurunan yang berarti.

Setelah benda uji dikonsolidasikan, proses pengujian dengan tekanan tetap dilakukan pengujian dengan cara sebagai berikut:

- tutup sistem tekanan balik (C) dan tutup tekanan sel (A) setelah nilai tekanan sel disesuaikan dengan tekanan balik;
- catat seluruh data tekanan sel, tekanan balik, dan nilai tekanan air pori, ketinggian batas pengaliran pada kedua buret perubahan volume;
- tingkatkan tekanan air dengan mengatur tekanan manometer yang ada pada tekanan sel/air pemasukan sesuai dengan tekanan yang direncanakan dan mengikuti subpasal 7.5.1 untuk memperoleh gradien hidraulik yang diijinkan;
- buka katup tekanan air pemasukan (D) dan buka katup tekanan balik/air pengeluaran (C);
- catat pengaliran ke luar dan ke dalam pada kedua alat ukur perubahan volume air pemasukan dan perubahan volume pengeluaran/tekanan balik, termasuk tekanan sistem pemasukan dan tekanan pengeluaran;
- hubungan antara waktu dan pengaliran serta perubahan tekanan air pemasukan dilakukan dengan:

- gambar hubungan antara  $t$  dan jumlah aliran;



- 2) tentukan jumlah aliran terhadap waktu.

### 7.5.3 Pengujian tekanan menurun (Metode B dan C)

Secara periodik catat setiap perubahan tekanan air pada saat pengamatan. Lanjutkan pengaliran hingga diperoleh paling sedikit 4 nilai kelulusan air pada setiap selang waktu: (1) perbandingan antara pengaliran keluar terhadap pengaliran ke dalam antara 0,75-1,25 dan (2) kelulusan air sudah langgeng. Ukur dan catat kehilangan tekanan air melalui penampang benda uji dengan menyesuaikan toleransi yang ditetapkan pada 5.15.2. Untuk pengujian tekanan menurun, selama pengaliran akan digunakan kehilangan tekanan melalui penampang benda uji harus lebih kecil dari 75% kehilangan tekanan awal (maksimum) selama setiap penentuan kelulusan air.

#### 7.5.3.1 Pengujian tekanan hilir tetap (Metode B)

Jika tekanan air di bagian hilir benda uji dipertahankan tetap, lakukan pengukuran dan pencatatan secara periodik salah satu jumlah aliran ke dalam atau ketinggian muka air dalam alat perubahan volume pengaliran masuk, dan lakukan pengukuran dan pencatatan jumlah pengeluaran air dari benda uji.

Jika tekanan air dalam benda uji berubah dan tekanan total yang digunakan tetap; maka tekanan efektif dalam benda uji akan berubah, yang dapat menyebabkan perubahan volume sehingga akan memperoleh hasil test yang tidak benar. Kondisi yang diperlukan adalah kehilangan tekanan tidak berkurang banyak dimaksudkan untuk menjaga perubahan tekanan efektif yang berlebihan. Untuk tanah yang sangat lunak dan benda uji yang mudah dipampatkan masih memerlukan kriteria yang jelas. Juga, jika kehilangan tekanan awal dan akhir melalui penampang benda uji tidak berbeda banyak, akurasi yang tinggi diperlukan untuk mengikuti materi subpasal 5.15.2 yaitu perbandingan antara kehilangan tekanan awal terhadap akhir ditentukan dengan penyimpangan sebesar  $\pm 5\%$  atau lebih kecil. Jika perbedaan kehilangan tekanan awal terhadap akhir tidak terlalu besar dalam interval waktu tertentu, sehingga masih memungkinkan untuk melakukan pengujian yang diperlukan pada pengujian tekanan tetap (7.5.3) yang mana kehilangan tekanan harus tidak berbeda dan tidak lebih dari 5% dan untuk memperbaiki pengujian tekanan tetap.

Adapun proses pengujian tekanan hilir tetap dilakukan setelah benda uji dikonsolidasikan selanjutnya dilakukan pengujian dengan cara sebagai berikut:

- tutup sistem tekanan balik (C) dan tutup tekanan sel (A) setelah nilai tekanan sel disesuaikan dengan tekanan balik
- catat seluruh data tekanan sel, tekanan balik, nilai tekanan air pori, dan ketinggian pada kedua buret;
- tingkatkan tekanan air pemasukan dengan mengatur tekanan manometer yang ada pada tekanan sel sesuai dengan tekanan yang akan digunakan dan mengikuti subpasal 7.5.1 untuk memperoleh gradien hidraulik yang diijinkan;
- buka katup tekanan air pemasukan (D) dan buka katup tekanan balik/tekanan air pengeluaran (C);
- pertahankan tekanan air pengeluaran tetap dengan mempertahankan manometer tekanan balik tetap;
- catat waktu dan perubahan volume tekanan air pemasukan;
- lakukan pengukuran tinggi batas air pada alat ukur perubahan volume aliran air ke dalam secara periodik;
- catat seluruh data antara waktu dan perubahan tinggi muka air pada alat ukur volume sistem pemasukan.



### 7.5.3.2 Pengujian tekanan hilir ditingkatkan (Metode C)

Jika tekanan air di bagian pengeluaran benda uji meningkat selama selang waktu, lakukan pengukuran dan pencatatan secara periodik salah satu jumlah pengaliran masuk dan pengaliran keluar atau perubahan muka air dipipa tegak pemasukan pengaliran air dan pengeluaran pengaliran air benda uji.

Adapun proses pengujian tekanan air pengeluaran ditingkatkan dilakukan setelah benda uji dikonsolidasikan selanjutnya dilakukan pengujian dengan cara sebagai berikut:

- tutup sistem tekanan balik (C) dan katup tekanan sel (A) setelah tekanan sel disesuaikan dengan tekanan balik;
- catat seluruh data antara lain adalah data tekanan sel, tekanan balik, tekanan air pori.
- tingkatkan tekanan air pemasukan dengan mengatur manometer yang ada pada sistem tekanan sel sesuai dengan tekanan yang akan digunakan dan mengikuti subpasal 7.5.1 untuk memperoleh gradien hidraulik yang diijinkan;
- buka katup tekanan air pemasukan (D) dan buka katup tekanan balik/tekanan air pengeluaran (C);
- tingkatkan tekanan air pengeluaran (C);
- catat waktu dan perubahan tinggi air pada kedua alat ukur volume;
- lakukan pengukuran tinggi batas air pada alat ukur perubahan volume aliran air ke dalam secara periodik sehingga memenuhi subpasal 7.5.4;
- catat seluruh data antara waktu dan perubahan ketinggian batas air pada alat ukur volume.

### 7.5.3.3 Pengujian aliran tetap (Metode D).

Pengaliran awal benda uji dilakukan dengan mengadakan kecepatan pengaliran tetap. Pilih kecepatan aliran sehingga gradien hidraulik tidak melampaui nilai yang ditentukan atau jika tidak ada ditentukan dengan nilai yang direkomendasikan dalam subpasal 7.5.1. Secara periodik melakukan pengukuran kecepatan aliran masuk, kecepatan aliran keluar dan kehilangan tinggi tekanan benda uji dengan toleransi yang diberikan pada subpasal 5.15.3. Juga, pengukuran dan pencatatan setiap perubahan tinggi benda uji. Lanjutkan pengaliran hingga paling sedikit memperoleh nilai kelulusan air dalam selang waktu: (1) perbandingan antara kecepatan pengeluaran kedalam terhadap pengaliran keluar antara 0,75 – 1,25 dan (2) kelulusan air sudah langgeng.

Adapun proses pengujian kelulusan air dengan pengujian pengaliran kecepatan tetap dilakukan setelah benda uji dikonsolidasikan selanjutnya dilakukan pengujian dengan cara sebagai berikut:

- tutup sistem tekanan balik (C) dan katup tekanan sel (A) setelah tekanan sel disesuaikan dengan tekanan balik;
- catat seluruh data yang antara lain nilai tekanan sel, tekanan balik, tinggi air pada alat ukur perubahan volume;
- tingkatkan tekanan air pemasukan dengan mengatur manometer yang ada pada sistem air pemasukan sesuai dengan tekanan yang akan digunakan dan mengikuti subpasal 7.5.1 untuk memperoleh gradien hidraulik yang digunakan;
- buka katup tekanan balik/tekanan air pengeluaran (C) dan buka katup tekanan air pemasukan (D) dengan mengatur tekanan sehingga dicapai kecepatan aliran tetap dan diperoleh gradien hidraulik yang digunakan;
- catat waktu dan perubahan tinggi air pada alat perubahan volume yang masuk dan yang ke luar, serta mengukur kecepatan pengaliran air masuk dan ke luar;
- jika pengaliran belum tetap, tingkatkan kembali tekanan air pemasukan sesuai dengan permintaan pemberi tugas dan lakukan secara berulang;
- catat jumlah pengaliran yang masuk dan waktu yang terjadi;
- tentukan jumlah pengaliran pada selang waktu tertentu dalam kondisi pengaliran tetap.



## 7.6 Ukuran akhir benda uji

Setelah selesai pengaliran, dengan mengurangi tekanan sel, pengaliran masuk dan pengaliran keluar benda uji agar tidak menimbulkan perubahan volume benda uji yang berarti. Kemudian, secara hati-hati sel kelulusan dilepas dan pindahkan benda uji. Ukur dan catat tinggi akhir, diameter dan berat total benda uji. Kemudian tentukan kadar air akhir benda uji yang menggunakan SNI 1965:2008. Ukuran dan berat benda uji harus diukur dengan toleransi yang ditentukan dalam supasal 5.9 dan 6.1.

Benda uji dapat mengembang setelah meniadakan tekanan balik sebagai hasil dari keluarnya udara dari larutan. Suatu koreksi dapat dilakukan untuk pengujian tentang perubahan panjang benda uji. Regangan yang disebabkan oleh dilepaskannya sel, dihitung dari panjang benda uji sebelum dan setelah melepas sel. Regangan yang sama diperkirakan akan terjadi akibat perubahan diameter benda uji. Koreksi diameter dan panjang benda uji sebelum tekanan balik diiadakan, digunakan untuk menghitung volume benda uji sebelum sel dilepas. Volume sebelum sel dilepas digunakan untuk menentukan kepadatan kering dan derajat kejenuhan akhir.

## 8 Rumus

### 8.1 Pengujian tekanan tetap dan aliran tetap (Metode A dan D)

Hitung kelulusan air,  $k$  sebagai berikut di bawah ini:

$$k = \frac{QL}{Ath} \quad (2)$$

#### Keterangan:

$k$	adalah	kelulusan air, (cm/detik);
$Q$	adalah	jumlah aliran, nilai rata-rata pengaliran kedalam dan keluar, (cm <sup>3</sup> );
$L$	adalah	panjang benda uji/panjang aliran, (cm);
$A$	adalah	luas penampang melintang benda uji, (cm <sup>2</sup> );
$t$	adalah	selang waktu, detik, selama aliran $Q$ terjadi;
$h$	adalah	perbedaan tinggi hidraulik yang melalui potongan penampang benda uji, (cm tinggi air);

### 8.2 Pengujian tekanan menurun

#### 8.2.1 Tekanan hilir tetap (Metode B)

Hitung kelulusan air,  $k$  sebagai berikut:

$$k = \frac{aL}{At} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (3)$$

#### Keterangan:

$a$	adalah	luas penampang melintang buret air pemasukan, (cm <sup>2</sup> );
$L$	adalah	panjang benda uji/panjang aliran, (cm);
$A$	adalah	luas penampang melintang benda uji, (cm <sup>2</sup> );
$t$	adalah	beda waktu antara, dalam penentuan $h_1$ dan $h_2$ , (detik);
$h_1$	adalah	kehilangan tekanan melalui penampang benda uji, pada saat $t_1$ , (cm tinggi air);
$h_2$	adalah	kehilangan tekanan melalui penampang benda uji, pada saat $t_2$ , (cm tinggi air);

#### 8.2.2 Tekanan hilir ditingkatkan (Metode C)

Hitung kelulusan air,  $k$  sebagai berikut :



$$k = \frac{a_{in} a_{out} L}{At(a_{in} + a_{out})} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (4)$$

Jika  $a_{out} = a_{in} = a$ , persamaan untuk menghitung  $k$  untuk pengujian tekanan menurun dengan peningkatan tekanan hilir adalah:

$$k = \frac{aL}{2At} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad (5)$$

**Keterangan:**

$a_{in}$	adalah	luas penampang melintang penyimpan cairan pemasukan kedalam benda uji, (cm <sup>2</sup> );
$a_{out}$	adalah	luas penampang melintang penyimpan cairan pengeluaran dari benda uji, (cm <sup>2</sup> );
$L$	adalah	panjang benda uji, (cm);
$A$	adalah	luas penampang melintang benda uji, (cm <sup>2</sup> );
$t$	adalah	beda waktu antara, dalam penentuan $h_1$ dan $h_2$ , (detik);
$h_1$	adalah	tekanan melalui penampang benda uji, pada saat $t_1$ , (cm tinggi air);
$h_2$	adalah	tekanan melalui penampang benda uji, pada saat $t_2$ , (cm tinggi air).

Koreksi kelulusan air untuk temperatur 20 °C,  $k_{20}$ , dengan mengalikan  $k$  dengan perbandingan viskositas air pada temperatur pengujian dengan viskositas air pada 20 °C,  $R_T$  dari Tabel 1 sebagai berikut:

$$k_{20} = R_T k \quad (6)$$

dengan pengertian bahwa  $R_T$  adalah perbandingan viskositas air pada temperatur standar, 20 °C dengan viskositas air pada temperatur tertentu,  $t$  °C.

## 9 Laporan

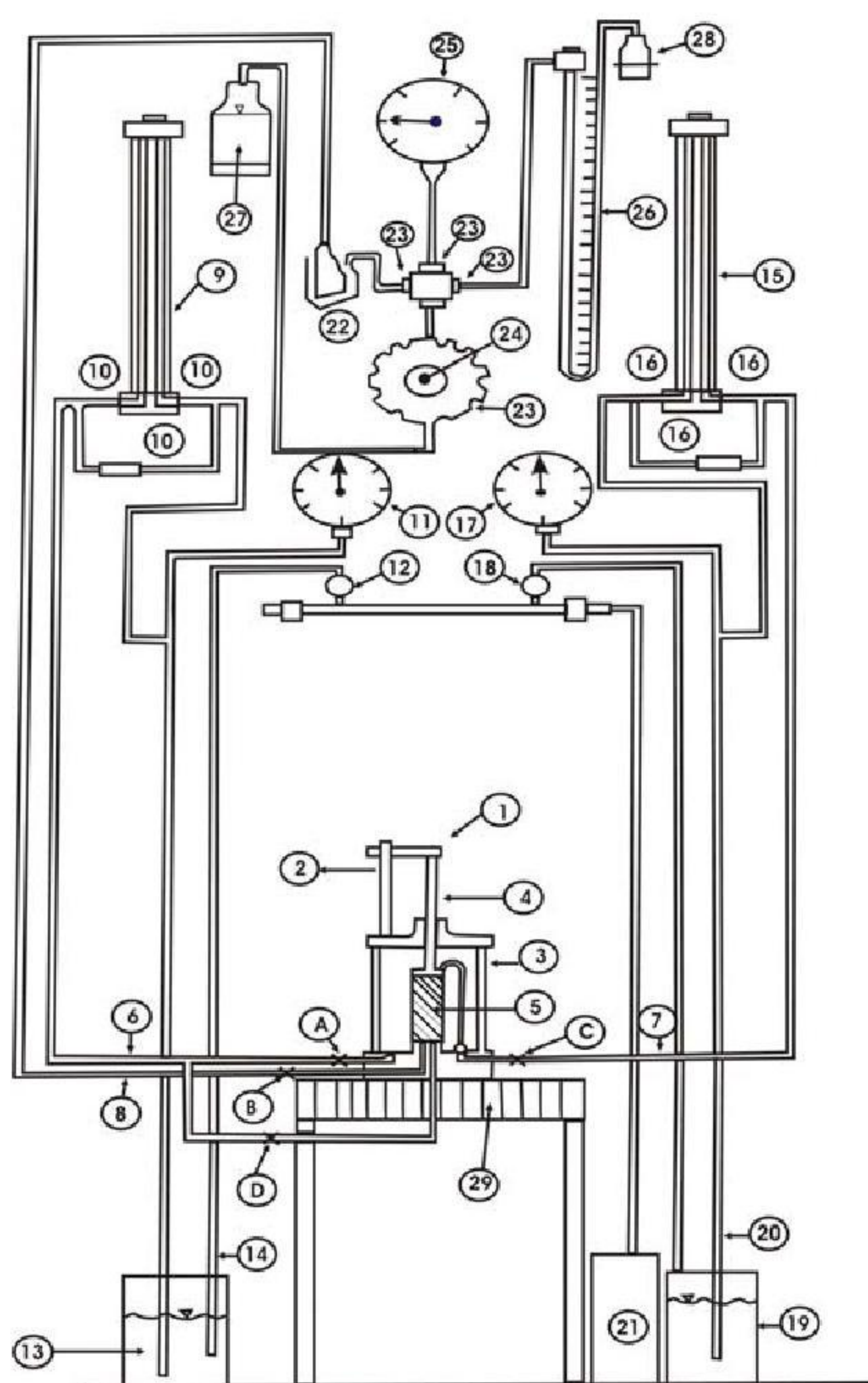
Pelaporan, meliputi

- pendahuluan;
- jenis tanah benda uji;
- metode pengujian;
- kegiatan pengujian;
- hasil pengujian;
- pembahasan;
- rekomendasi;
- Kesimpulan dan saran.



## Lampiran A (informatif)

### Gambar

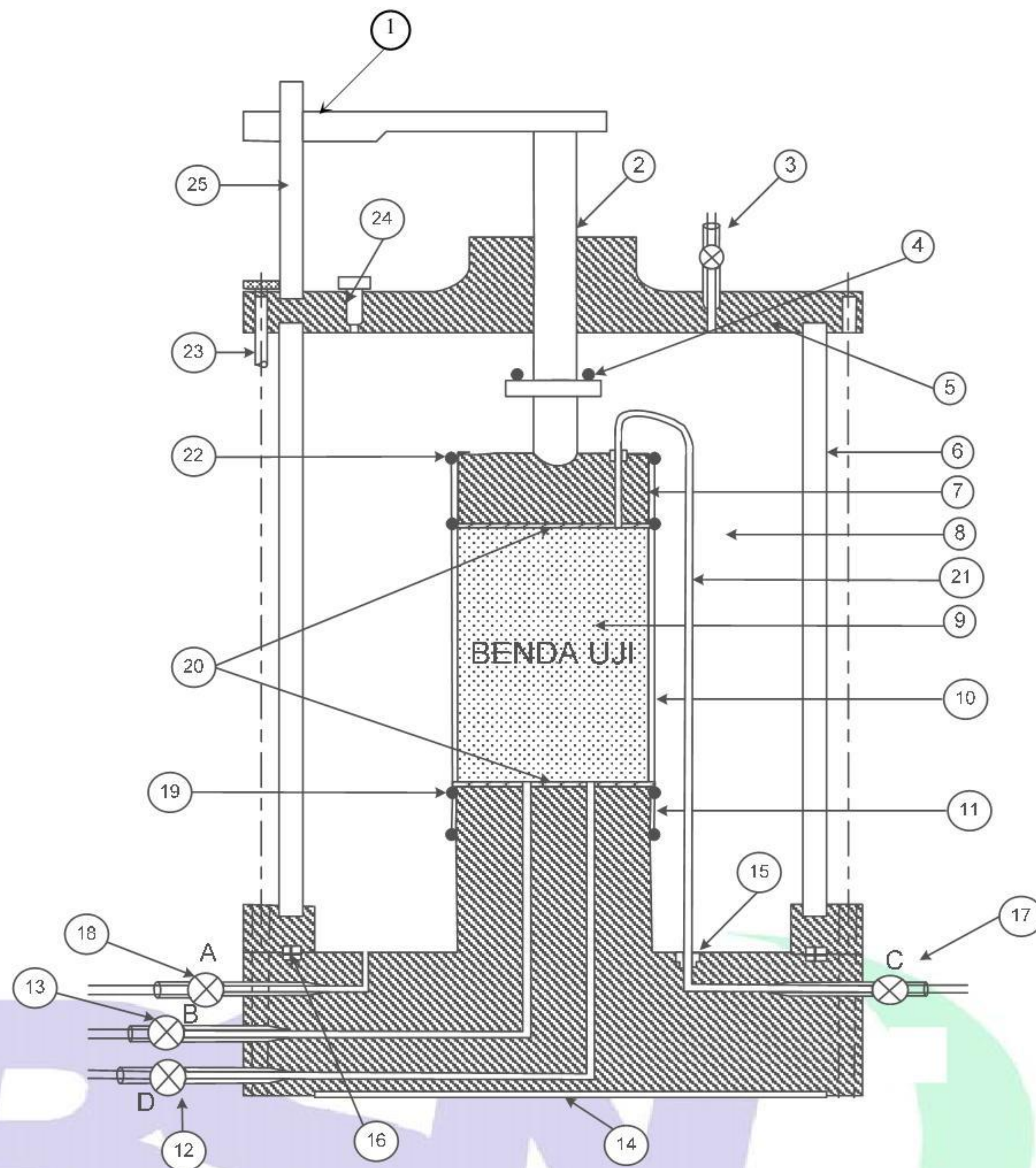


Keterangan gambar:

1. lengan penahan piston
- 2.udukan lengan penahan piston
3. sel triaksial
4. piston
5. benda uji
6. sistem tekanan sel
7. sistem tekanan balik
8. sistem tekanan air pori
9. alat ukur perubahan volume sel/air pemasukan
10. katup pengatur alat ukur perubahan volume sel
11. manometer tekanan sel/pemasukan
12. pengatur tekanan sel
13. tangki air tekanan sel
14. katup pengatur tangki tekanan sel
15. alat ukur perubahan volume contoh tanah/air berpengeluaran
16. katup pengatur drainase pada alat ukur perubahan contoh tanah/air berpengeluaran
17. manometer tekanan balik/pengeluaran
18. pengatur tekanan balik
19. tangki air tekanan balik
20. katup pengatur tangki tekanan balik
21. kompresor
22. indikator nol ("null indicator")
23. katup pengatur alat ukur tekanan air pori
24. sekrup pengontrol indikator nol
25. manometer tekanan air pori
26. pipa U pengukur tekanan air pori < 100 kPa
27. tabung berisi air untuk mengisi sekrup pengontrol indikator nol
28. tabung air pipa U
29. meja penyangga sel triaksial
- A. katup pengatur tekanan sel
- B. katup pengatur tekanan air pori
- C. katup pengatur tekanan balik air/pengeluaran
- D. katup pengatur tekanan air pemasukan

Gambar A.1 - Contoh rangkaian peralatan uji kelulusan air



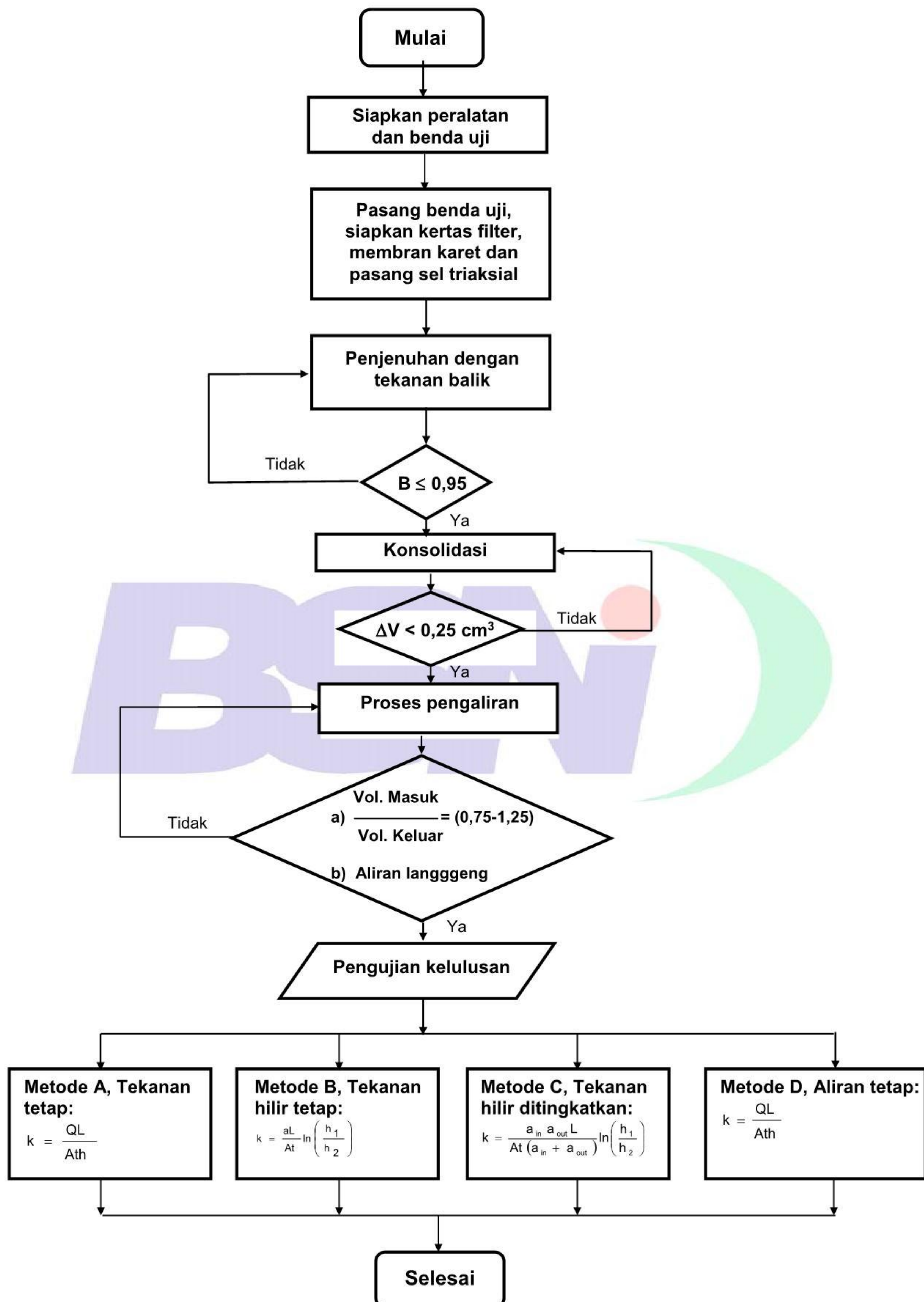


## Keterangan gambar:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Lengan penahan piston                     | 14. Alas sel triaksial                               |
| 2. Piston                                    | 15. Ring perapat                                     |
| 3. Katup pengisi oli                         | 16. Karet penyekat ("O ring seal")                   |
| 4. Penahan piston                            | 17. C = Katup pengatur tekanan balik air pengeluaran |
| 5. Penutup sel                               | 18. A = Katup pengatur tekanan sel                   |
| 6. Silinder tembus pandang                   | 19. Karet ("O ring")                                 |
| 7. Penutup benda uji                         | 20. Batu pori  |
| 8. Air pengujian dalam sel                   | 21. Selang saluran tekanan balik                     |
| 9. Benda uji                                 | 22. Karet ("O ring")                                 |
| 10. Membran karet                            | 23. Batang penguat                                   |
| 11. Alas benda uji                           | 24. Penutup pengeluar udara/air                      |
| 12. D = Katup pengatur tekanan air pemasukan | 25. Dudukan lengan penahan piston                    |
| 13. B = Katup pengatur tekanan air pori      |  |

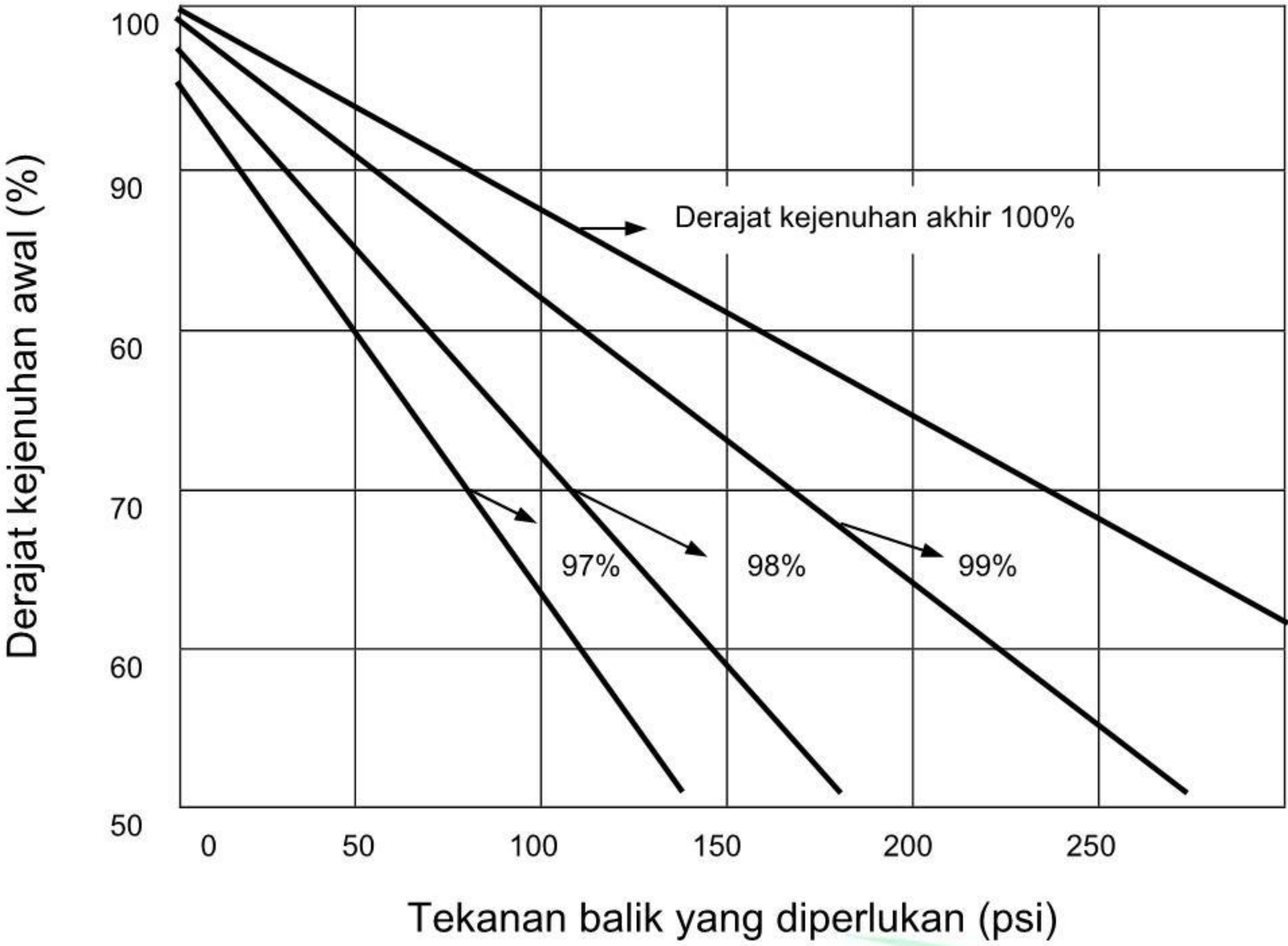
Gambar A.2 - Sel triaksial





Gambar A.3 - Bagan alir pengujian kelulusan air





Gambar A.4 - Tekanan balik untuk berbagai derajat kejenuhan



## Lampiran B (informatif)

### Tabel

**Tabel B.1 - Hubungan antara nilai kelulusan air  
dengan nilai perkiraan gradien hidraulik**

Kelulusan air (cm/detik)	Nilai perkiraan gradien hidraulik
$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4}$	2
$1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-5}$	5
$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-6}$	10
$1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$	20
lebih kecil dari $1 \times 10^{-7}$	30

**Tabel B.2 - Faktor koreksi  $R_T$  untuk viskositas air  
pada perubahan temperatur**

Temperatur, °C	$R_T$	Temperatur, °C	$R_T$
0	1.783	25	0.889
1	1.723	26	0.869
2	1.664	27	0.850
3	1.611	28	0.832
4	1.560	29	0.814
5	1.511	30	0.797
6	1.465	31	0.780
7	1.421	32	0.764
8	1.379	33	0.749
9	1.339	34	0.733
10	1.301	35	0.719
11	1.265	36	0.705
12	1.230	37	0.692
13	1.197	38	0.678
14	1.165	39	0.665
15	1.135	40	0.653
16	1.106	41	0.641
17	1.077	42	0.629
18	1.051	43	0.618
19	1.025	44	0.607
20	1.000	45	0.598
21	0.976	46	0.585
22	0.953	47	0.575
23	0.931	48	0.565
24	0.910	49	0.556

<sup>A</sup>  $R_T = (-0.02452 T + 1.495)$  dimana T adalah derajat Celsius



Tabel B.3 - Contoh formulir isian penjenruhan dengan tekanan balik

Lokasi : BEND. AMANDIT – KALSEL					Tipe pengujian A		No. Bor : BHM. 1					
Operator : TA/MD/SRP cs							Kedalaman: 2.70 – 3.00 m					
Membran karet <del>tebal</del> /tipis			<del>Dengan</del> Tanpa		Drainase samping		No. Sel : 1 No. : 1 Panel					
Keterangan :							Tanggal mulai:					
Tekanan sel kPa	Tekanan balik KPa	Tekanan pori KPa	Beda tek. Pori KPa	Harga B	Perubahan volume tekanan balik			Perubahan volume sel			Perubahan vol - contoh	
					Sebelum cm <sup>3</sup>	Setelah cm <sup>3</sup>	Beda cm <sup>3</sup>	Sebelum cm <sup>3</sup>	Setelah cm <sup>3</sup>	Beda cm <sup>3</sup>	+ Consol. cm <sup>3</sup>	- Pe ng. cm <sup>3</sup>
0	-	0.088										
50	-	8	-									
	40	40			35.10	37.50	2.40	42.40	44.50	2.10		
100		78	38	76								
	90	90			37.50	35.00	2.50	50.00	52.00	2.00		
150		140	40	80								
	140	140			35.00	34.60	0.40	53.20	53.60	0.40		
200		188	48	96								
	190	190			35.00	35.30	0.30	56.20	56.80	0.60		
250		239	49	98								
	240	240			35.30	34.60	0.70	59.60	60.60	1.00		
290		280	40	100								
								70.00	70.80	0.80		
Perjanjian tanda		Contoh benda uji		Sel	Penjenruhan				TOTAL		6.90	6.30
Air masuk		- 6.90 cm <sup>3</sup>		+								
Air keluar		+ 6.30 cm <sup>3</sup>		-	Net volume change							
Regangan terkompresi		+ 0.60 cm <sup>3</sup>			Koreksi filter :							
Koreksi sel					Sel :							
Koreksi piston					Perubahan vol. Terkoreksi $\Delta V_s$ : 0.60 cm <sup>3</sup>							
					Perubahan vol. Waktu konsolidasi $\Delta V_c$ : 0.70 cm <sup>3</sup>							
					$\Delta V_s + \Delta V_c = \Delta V_t$ : 1.3 cm <sup>3</sup>							
					$E_v \frac{\Delta V_t}{V_o} \times 100\% = 1,50\%$				Ao = 1962,5 mm <sup>2</sup>			
					$1/3 E_v = 0,50 \%$				2/3 $E_v = 0.10\%$		Vo = 88,31 cm <sup>3</sup>	
$H_c = H_o (1 - 1/3 E_v / 100) = 44.82 \text{ mm}$				$A_c = A_o (1 - 2/3 E_v / 100) = 1942.87 \text{ mm}^2$				$V_c = V_o - \Delta V_t = 87,01 \text{ cm}^3$				
Keterangan:				Wo = 166.12 gr	$\gamma n_0 = 1.881$ gr/cm <sup>3</sup>							
				Wi = 172.34 gr	$\gamma C_1 = 1.952$ gr/cm <sup>3</sup>							
				K A <sub>0</sub> = 32.93 %	$\sigma_3 = 50$ KPa							
				K A <sub>1</sub> = 38.34 %								



Tabel B.4 - Contoh formulir isian proses konsolidasi

L o k a s i : AMANDIT – KALSEL						No. Bor : BHM.1					
Operator : TA/MD/SRP						Kedalaman: 2.70 – 3.00 m					
Tekanan efektif: 50 kPa		Tanggal	Jam	Waktu (menit)	$\sqrt{t}$	Perubahan volume		Tekanan pori			
Tekanan sel : 290 kPa						Buret	Beda (cm <sup>3</sup> )	Bacaan kPa	Perbedaan kPa	Disipasi %	
Tekanan balik: 240 kPa		8/09	10.40	0	0	32.80	0	280	40	100	
Peningkatan tekanan pori 40 kPa			10.41	1	1	32.90	0.10	275	35	87.5	
Perbedaan: 10 kPa			10.44	4	2	33.00	0.20	272	32	80	
Dengan	Drainase sampling		10.49	9	3	32.20	0.40	270	30	75	
Tanpa			10.56	16	4	33.40	0.50	268	28	70	
$\sqrt{t_{100}}$ 5.40 menit  $t_{100}$ 29.16 menit			11.05	25	5	33.40	0.60	265	25	62.5	
			11.16	36	6	33.40	0.60	260	20	50	
			11.29	49	7	33.45	0.65	258	18	45	
			11.44	64	8	33.50	0.70	255	15	37.5	
			12.01	81	9	33.50	0.70	253	13	32.5	
			12.20	100	10	33.50	0.70	252	12	30	
			12.41	121	11	33.50	0.70	250	10	25	
			13.04	144	12	33.50	0.70	246	6	15	
	13.29	169	13	33.50	0.70	244	4	10			
	13.59	196	14	33.50	0.70	242	2	5			
	14.58	255	15	33.50	0.70	240	0	0			



**Tabel B.5 Contoh formulir isian pengujian kelulusan air tekanan tetap (Metode A)**

Proyek : BEND. AMANDIT  
 Lokasi : KALSEL  
 Pemboran No. : BHM.1  
 Contoh : UNDISTURBED  
 Kedalaman : 2.70 - 3.00 m.  
 Macam Tanah : LEMPUNG LANAU  
 Warna Tanah : COKLAT MERAH  
 Operator : TA/MD/SRPCS

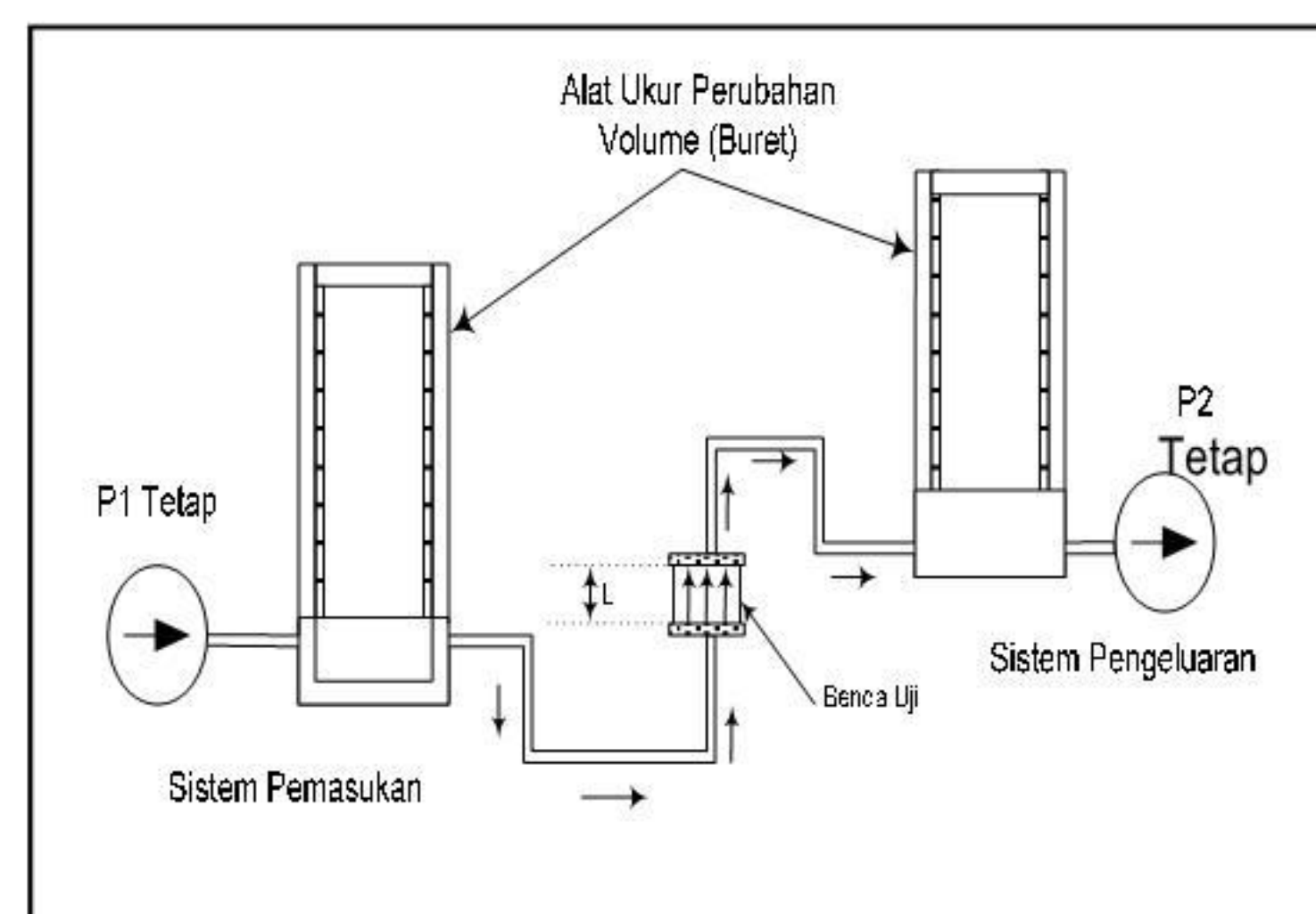
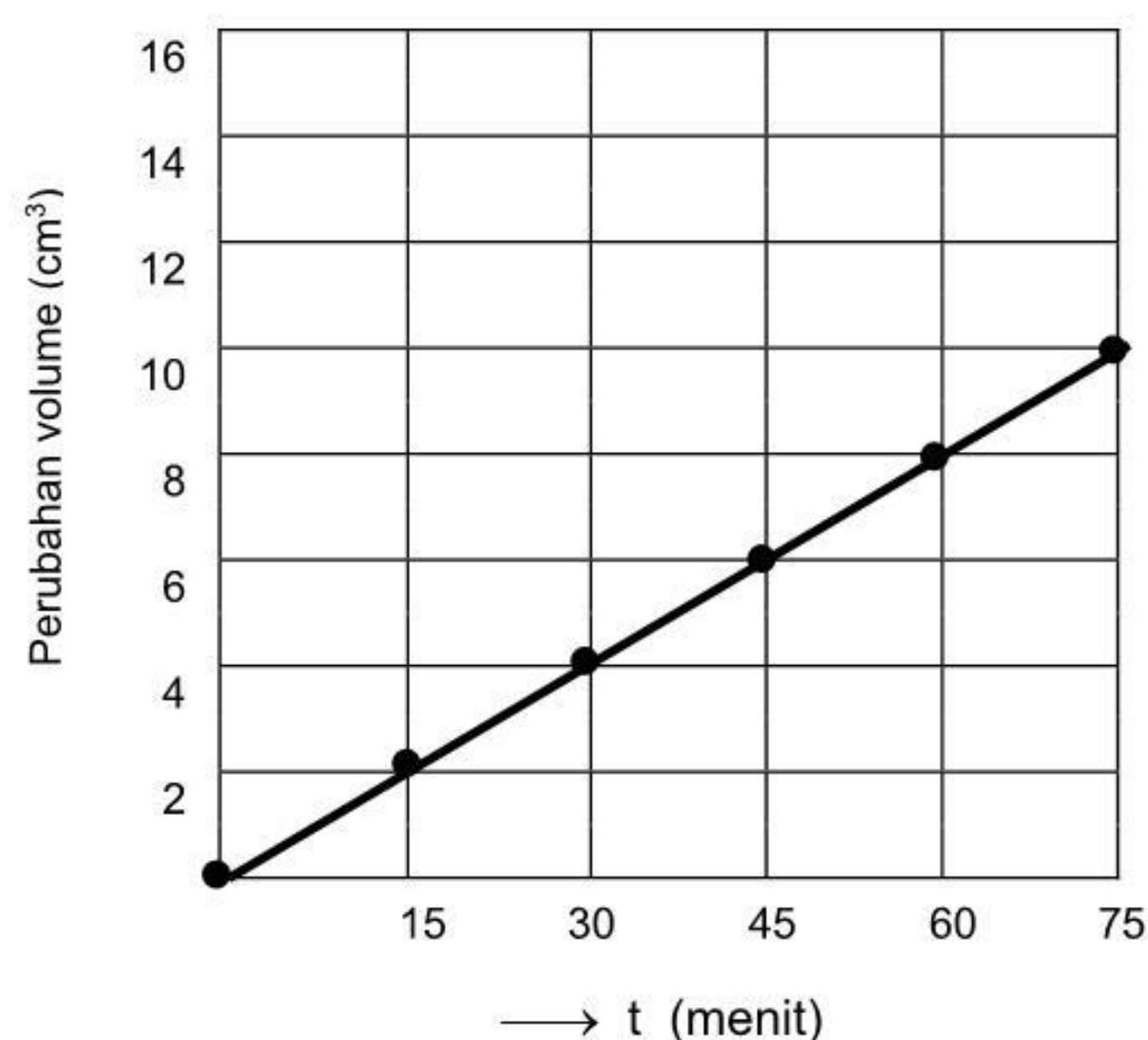
Tekanan Pemasukan,  $P_1$  : 250 kPa  
 Tekanan Pengeluaran,  $P_2$  : 240 kPa  
 Benda uji : -  
 Diameter awal ( $\phi$ ) : 5.00 cm  
 Tinggi benda uji awal : 4.50 cm  
 Tinggi benda uji akhir (L) : 4.48 cm  
 Luas benda uji awal : 19.625 cm<sup>2</sup>  
 Luas benda uji akhir (A) : 19.42 cm<sup>2</sup>

Tanggal	Pukul	Beda Waktu (menit) $\Delta t$	Tekanan $P_1$ $h_1$ (cm)	Tekanan $P_2$ $h_2$ (cm)	Selisih tekanan tinggi air $h = h_1 - h_2$ cm	Perubahan vol pemasukan		Perubahan vol pengeluaran		Temperatur °C	$K_t$	$K_{20}$ cm/det
						Buret	Beda (cm <sup>3</sup> )	Buret	Beda (cm <sup>3</sup> )			
08-09-03	13.40	0'	250	240	10	58.20	0	33.00	2.0	-		
		15'	250	240	10	56.00	2.20	31.0	2.0	26	$7.71 \times 10^{-5}$	$6.7 \times 10^{-5}$
		15'	250	240	10	53.9	2.1	29.0	1.9	26	$5.38 \times 10^{-5}$	$4.68 \times 10^{-5}$
		15'	250	240	10	51.9	2.0	27.1	1.9	26	$5.13 \times 10^{-5}$	$4.45 \times 10^{-5}$
		15'	250	240	10	43.9	2.0	25.2	1.9	26	$5.13 \times 10^{-5}$	$4.45 \times 10^{-5}$
		15'	250	240	10	47.9	2.0	23.3	1.9	26	$5.13 \times 10^{-5}$	$4.45 \times 10^{-5}$

Catatan :  $\gamma_{no}$  = 1.881 gr/cm<sup>3</sup>  
 $\gamma_i$  = 1.952 gr/cm<sup>3</sup>  
 $W_o$  = 166.12 gr  
 $W_i$  = 172.34 gr  
 $K_{Ao}$  = 33.93 %  
 $K_{Ai}$  = 38.34 %

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

Tanda tangan Operator:





**Tabel B.6 - Contoh formulir isian pengujian kelulusan air tekanan menurun/tekanan hilir tetap (Metode B)**

Proyek	:	BEND. AMANDIT
Lokasi	:	KALSEL
Pemboran No.	:	BHM.1
Contoh	:	UNDISTURBED
Kedalaman	:	2.50 - 3.00 m.
Macam Tanah	:	LEMPUNG LANAU
Warna Tanah	:	COKLAT MERAH
Operator	:	TA/MD/SRPCS

Tekanan Pemasukan,  $P_1$  (awal) : 250 kPa  
Tekanan Pengeluaran,  $P_2$  : 240 kPa

Diameter benda uji tanah ( $\phi$ )	:	5.00	cm
Tinggi benda uji awal	:	4.50	cm
Tinggi benda uji (L) akhir	:	4.48	cm
Luas penampang benda uji (A) awal	:	19.625	cm <sup>2</sup>
Luas penampang benda uji (A) akhir	:	19.42	cm <sup>2</sup>
Luas penampang buret pemasukan ( $a_{in}$ )	:	1,74	cm <sup>2</sup>
Luas penampang buret pengeluaran ( $a_{out}$ )	:	1.74	cm <sup>2</sup>

[illegible]

<b>Catatan</b>	:	$\gamma_{no}$	= 1.881	gr/cm <sup>3</sup>
		$\gamma_i$	= 1.952	gr/cm <sup>3</sup>
		W o	= 166.12	gr
		W i	= 172.34	gr
		K Ao	= 33.93	%
		K Ai	= 38.34	%

$$K = \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

Tanda tangan  
Operator:





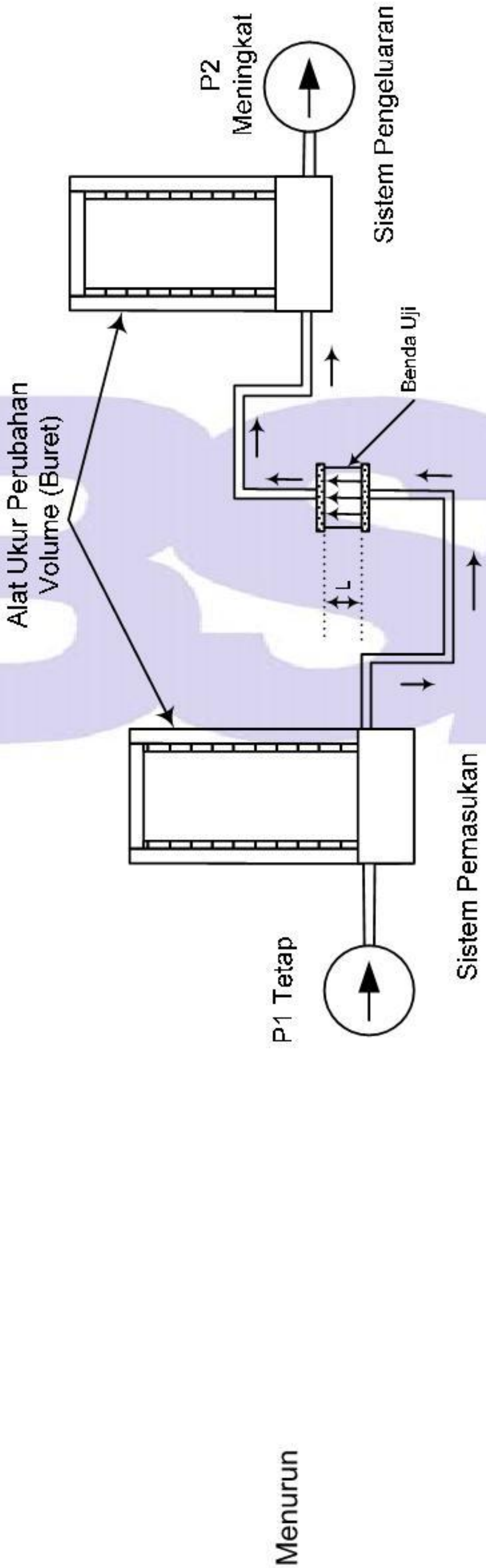




Catatan	:	$\gamma_{no}$	= 1.881	gr/cm <sup>3</sup>
		$\gamma_i$	= 1.952	gr/cm <sup>3</sup>
		W <sub>o</sub>	= 166.12	gr
		W <sub>i</sub>	= 172.34	gr
		K <sub>Ao</sub>	= 33.93	%
		K <sub>Ai</sub>	= 38.34	%

Tanda tangan  
Operator:

$$K = \frac{a_{in} a_{out} L}{A \cdot t (a_{in} + a_{out})} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right)$$

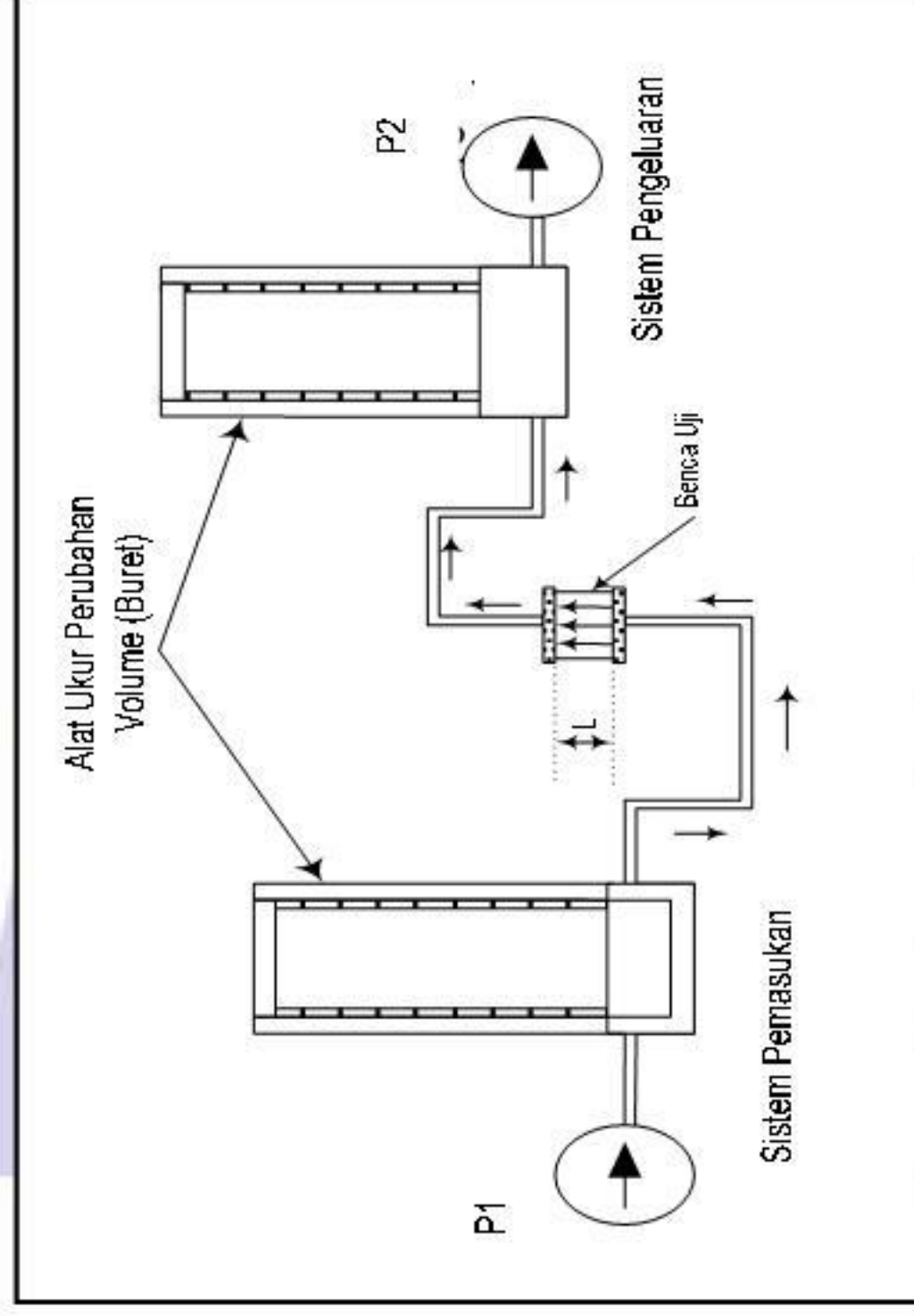
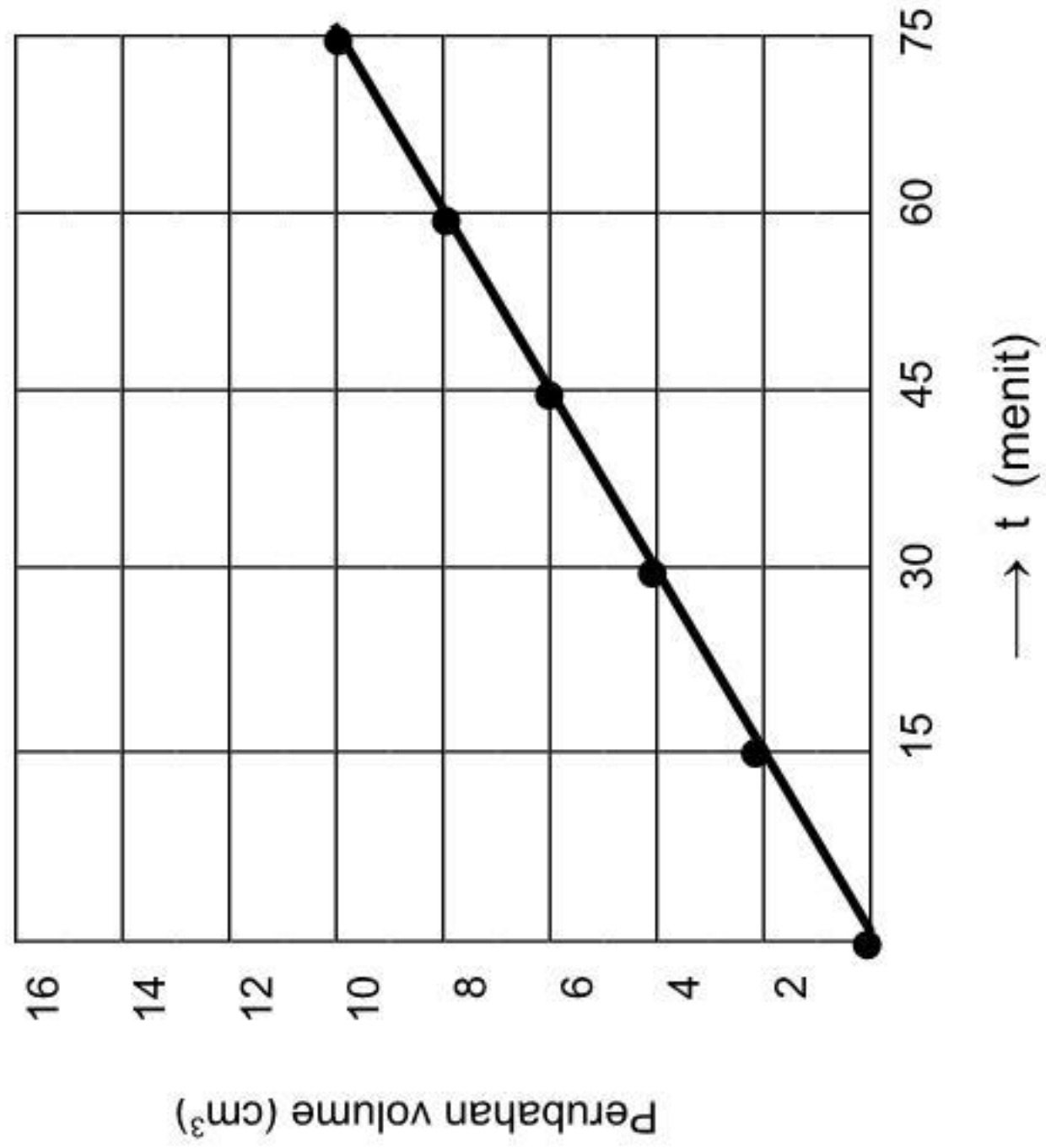








K<sub>Ao</sub> = 33.93 %  
K<sub>Ai</sub> = 38.34 %





## Bibliografi

ASTM D5084-10, *Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials using a Flexible Wall Permeameter*

Head, K.H., MA. (Cantab), C.Eng, FKE, FGS, "*Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 3. Effective Stress Tests*", ELE, International Limited, Pentech Press, London, 1986.

Lambe, T.W., "*Soil Testing for Engineers*", John Wiley & Sons, Inc. New York, 1951.

Leliavsky S., "*Design of Dams for Percolation and Erosion*", Design Textbook, in Civil Engineering, Chapman & Hall, Londong, 1965.

Murthy, V.N.S., "*Soil Mechanics & Foundation Engineering*", Dhanpat Rai & Sons, Delhi, 1977.

Terzaghi, K., "*Theoritical Soil Mechanics*" John Wiley & Sons, Inc. New York, 1943.

